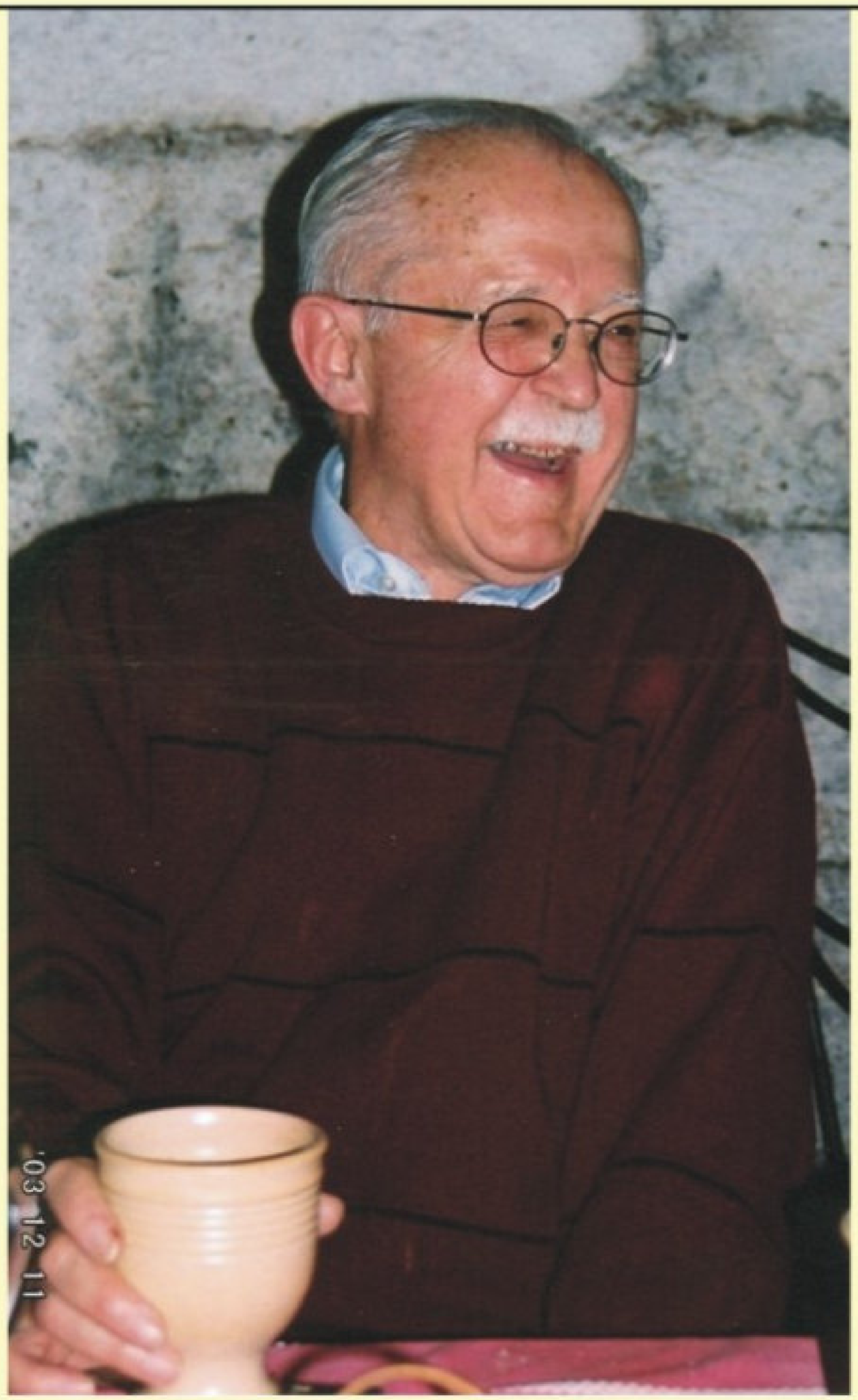
DR. UJHELYI JÁNOS és DR. POPOVICS SÁNDOR

kutatási eredményei

Tartalomjegyzék

2. RÉSZ



Debrecen, 1925. március 28.
✝ Budapest, 2011. december 4.

Budapest, 1921. december 21.
✝ Landsdowne (USA), 2010. január 14.

Ujhelyi János: A beton levegőtartalmának hatása. Magyar Építőipar, 1980. 8. pp. 469-481.

Ujhelyi János – Toma Murad: A duzzasztott agyagkavics-betonok nyomószilárdsága. Építőanyag, 1984. 9. pp. 268-273.

Ujhelyi János: Betontechnológia I. Vízépítési segédletek. VÍZDOK. Budapest, 1985.

Ujhelyi János „A beton struktúrájának és nyomószilárdságának a tervezése” című akadémiai doktori értekezése, annak hivatalos bírálatai és a bírálatokra adott válasz. Magyar Tudományos Akadémia, Budapest, 1989. augusztus – 1990. július. Lásd e mappa folytatásának 3. részében

Ujhelyi János (ford.): ACI 201.1R-92: Irányelv a használatban lévő beton állapotának ellenőrzésére, 1992.

Ujhelyi János: Az ÉTI és a CEMKUT K+F Kft. Betontechnológiai Laboratórium tudományos tevékenysége (1927–2002)

Ujhelyi János: Különböző cementekkel készített betonkeverékek szilárdulási üteme és szilárdságbecslő képlete. 2007.

Ujhelyi János: A tartósságra való tervezés gazdaságossági kérdései. A „Betonszerkezetek tartóssága” című konferencián elhangzott előadás. MTA, 2008.

Ujhelyi János: Nekrológ. *Dr. Buday Tibor* (1929-2009) munkásságának méltatása

Ujhelyi János: Újabb kutatások a beton mechanikai tulajdonságai területén. Előadás a 90 éves Dr. Gilyén Jenő tiszteletére az ÉTE és a *fib* Magyar Tagozatának rendezvényén, 2009. február 12.

Ujhelyi János: Teljesítményszemlélet – A betontudomány új irányai. Előadás az SZTE Beton Szakosztály 2009. február 17-én, „Mérnöki szerkezetek” címmel rendezett ankétján.

Magyar Építőipar 1980. 8. szám pp. 469-481.

A beton levegőtartalmának hatása

DR. UJHELYI JÁNOS

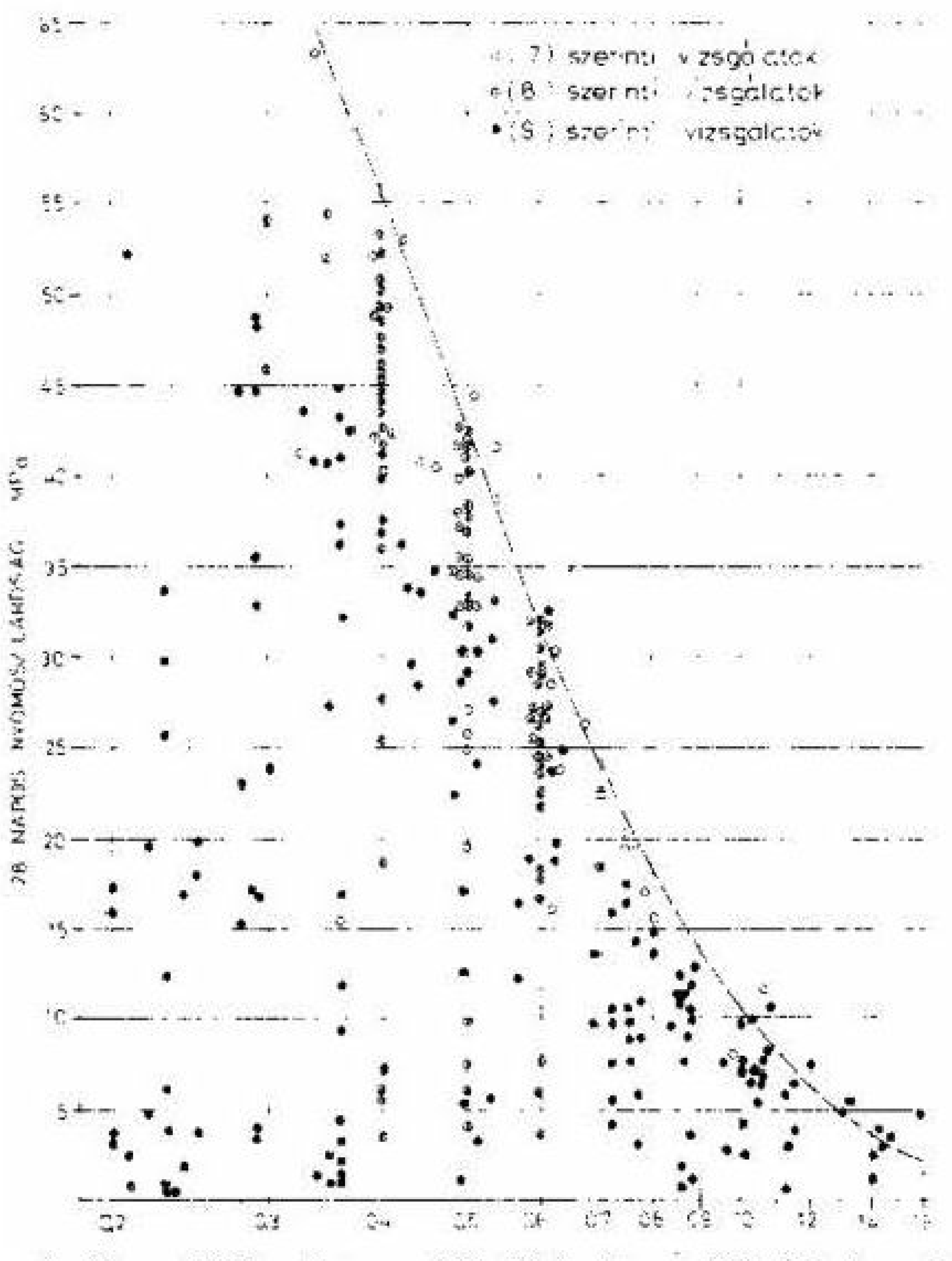
1. Bevezetés

A beton és vasbeton szerkezetek gazdaságos készítése megkívánja, hogy az előírt betonszilárdságot gondosan megtervezett összetételű és készítésű betonkeverékkel érjük el. Régi törekvés, hogy részben a betonösszetétel meghatározására, részben a beton nyomószilárdságának előbecslésére olyan eljárásokat dolgozzanak ki, amelyek a beton szilárdságát befolyásoló paraméterek hatását a lehető legáltalánosabban érvényesítik.

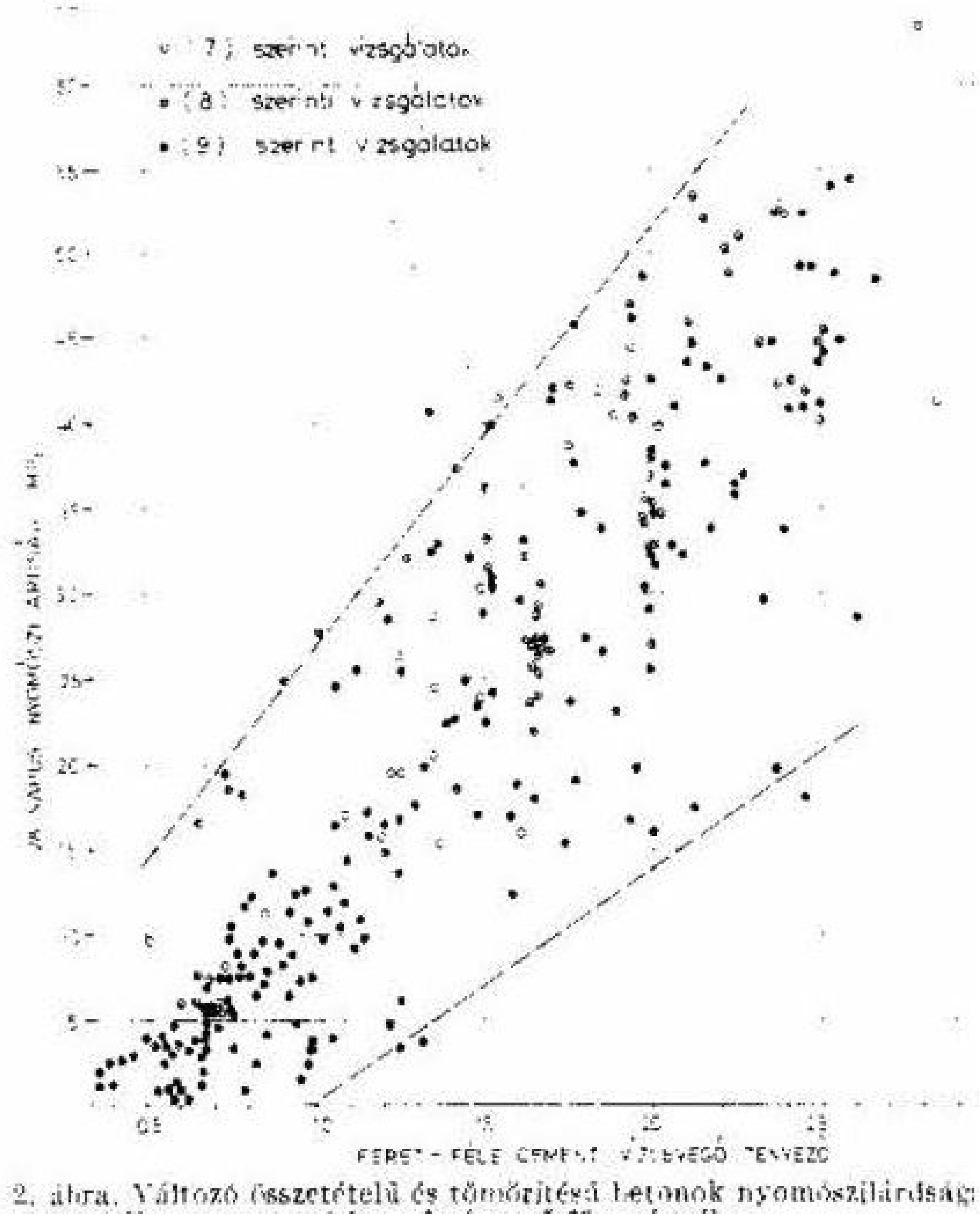
Az *Abrams* által bevezetett víz/cement arány [1] – amelyre *Zielinszky* már korábban felhívta a figyelmet [2] – 1918 óta a legfontosabb paraméternek bizonyult és jól használhatónak a közepes nyomószilárdságú (B140 – B280), képlékeny-folyós konzisztenciájú és cementpéppel közel telített betonokra. Szélsőséges betontípusokra (pl. B560 vagy B50, ill. földnedves konzisztencia) már nem lehetett korlátozás nélkül elfogadni, így *Feret* [3], majd *Palotás* [4] vizsgálatai alapján a friss beton levegőtartalmát is sok esetben számításba kellett venni. *Murdock* kísérletei után [5] a cement:adalékanyag arány került be néhány külföldi betonösszetétel-tervezési eljárásba, míg ezeken túlmenően az adalékanyag minőség és a konzisztencia hatását is figyelembe vette *Kausay* [6] tervezési nomogramjában.

A felsorolt paramétereket azonban nem lehet mindig általános érvénnyel alkalmazni, mert pl. *Armuth* kimutatta [7], hogy kis cementtartalmú ($m_c \leq 250\ kg/m^3$) betonok esetében csak a friss, betömörített beton levegőtartalma felének figyelembe vétele indokolt.

Ha adott minőségű cementből széles határok között változó összetételű és készítésű betonkeverékeket állítunk elő, akkor a víz/cement tényező függvényébe a nyomószilárdság az 1. ábra, a *Feret-féle* cement/víz.levegő tényező függvényében a 2. ábra, az *Armuth* által javasolt fél-levegőtartalom figyelembe vételével a 3. ábra szerinti összefüggéseket nyerjük az ÉTI-ben végzett több éves vizsgálatok alapján [8] – [10]. Valamennyi betonkeveréket 450 minőségű cementtel készítettük (a cement szabványos szilárfdsága 48-52 MPa között volt).

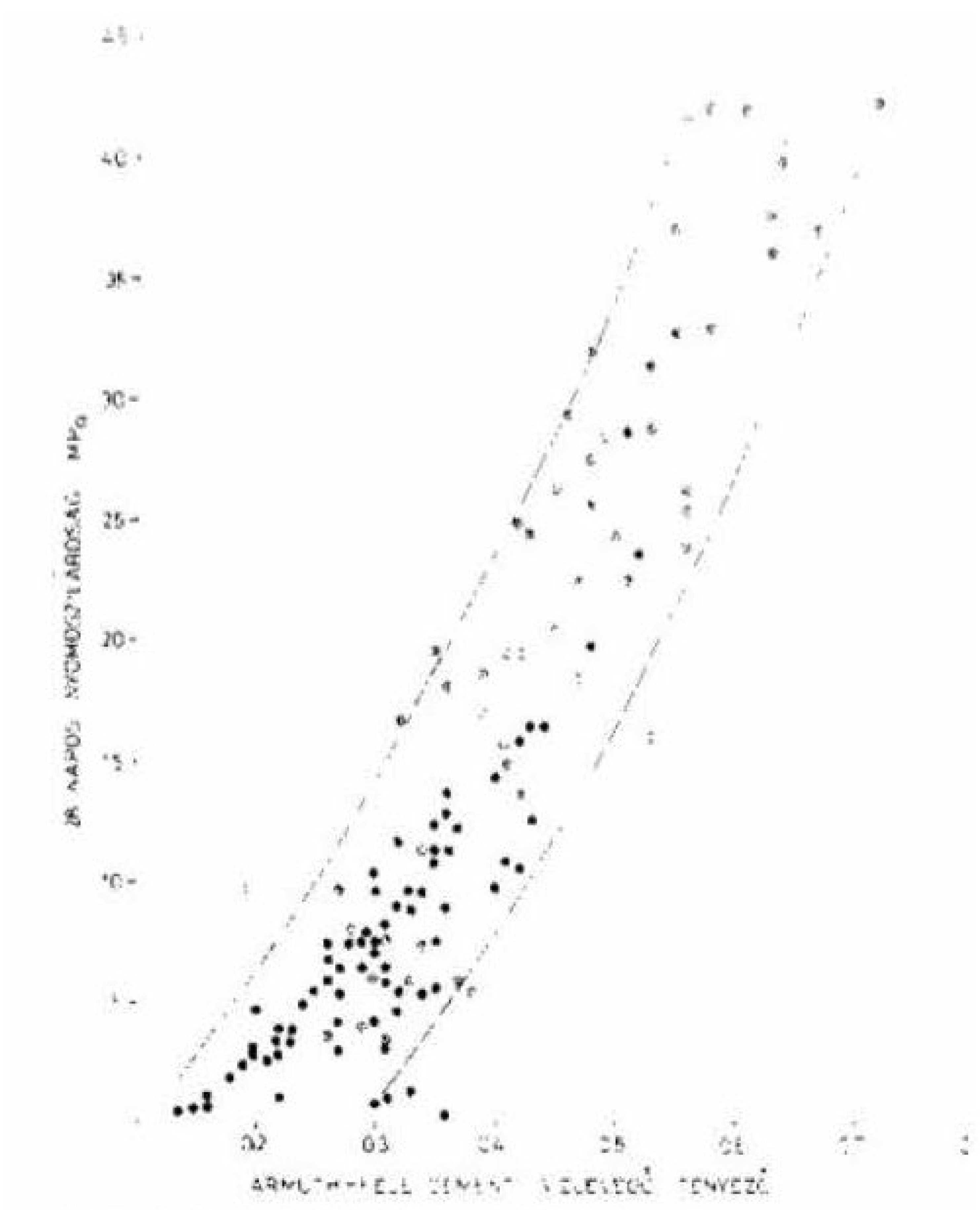


1. ábra: Változó összetételű és tömörítésű betonok nyomószilárdsága a víz/cement tényezőtől függve



2. ábra. Változó összetételű és tömörítésű betonok nyomószilárdsága a *Feret*-féle cement : vízlevegő-tényező függvényében

Az 1. ábrából az tűnik ki, hogy a víz/cement tényező és a nyomószilárdság összefüggése az abszcissza és egy felső burkológörbe közötti területet jellemez. A burkológörbén az adott víz/cement tényező mellett elérhető legnagyobb nyomószilárdságok helyezkednek el. Ennek a burkológörbének exponenciális alakban kifejezett egyenlete:


3. ábra. A beton nyomószilárdságának változása cement
a cement / (víz + 0,5.levegő) arány függvényében

$x \leq 0,8$ mellett $\quad R = 166,5 \,.\, e^{-2,74 \cdot x}$ (1)

$x \geq 0,8$ mellett $\quad R = 159,5 \,.\, e^{-2,69 \cdot x}$ (2)

ahol x = a víz/cement tényező,

R = a 28 napos nyomószilárdság, MPa (20 cm élhosszúságú kockákon)

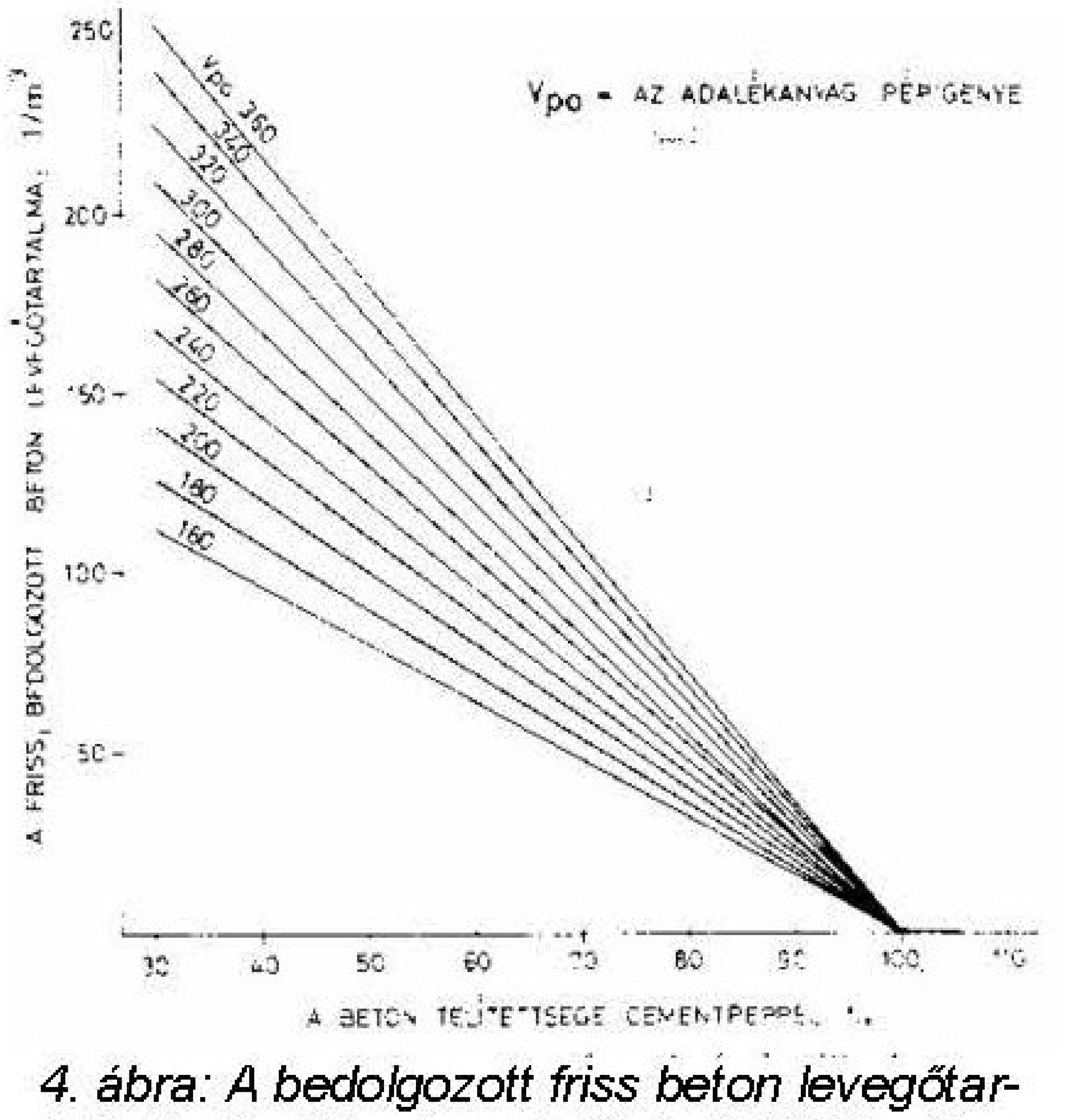
A *Feret*-féle cement/víz.levegő tényező növekvő értékeihez a 2. ábra szerint fokozatosan növekvő, de ugyanakkor szélesedő nyomószilárdság-tartomány tartozik, azaz mennél nagyobb a *Feret*-tényező értéke, annál bizonytalanabbá válik a nyomószilárdság becslése. Például, ha a *Feret*-tényező 2,0, akkor ehhez az értékhez 14 és 51 MPa között bármilyen nyomószilárdság tartozhat.

Armuth csak a kis cementtartalmú betonokra találta használhatónak a *Feret*-tényezőt, de jobb összefüggést kapott, ha a friss beton levegőtartalmát nem a teljes, hanem fél értékével vette figyelembe. Ezt a szorosabb korrelációt mutatja a 3. ábra. Például 0,5 érték mellett a várható nyomószilárdság 16 és 36 között változhat akkor, ha a cementtartalom legfeljebb 250 kg/m^3.

Ez a teljesség nélküli rövid áttekintés is jelzi, hogy a nyomószilárdság becslésének, ill. a betonösszetétel tervezésének pontossága javul, ha a víz:cement arány mellett a levegőtartalmat is számításba vesszük. A következőkben azoknak a vizsgálatoknak az eredményeit foglalom össze, amelyeket az Építéstudományi Intézet Betontechnológiai osztályán a beton levegőtartalma hatásának a meghatározására 1973-1979 között végeztem.

2. A beton levegőtartalmának mértékét befolyásoló tényezők

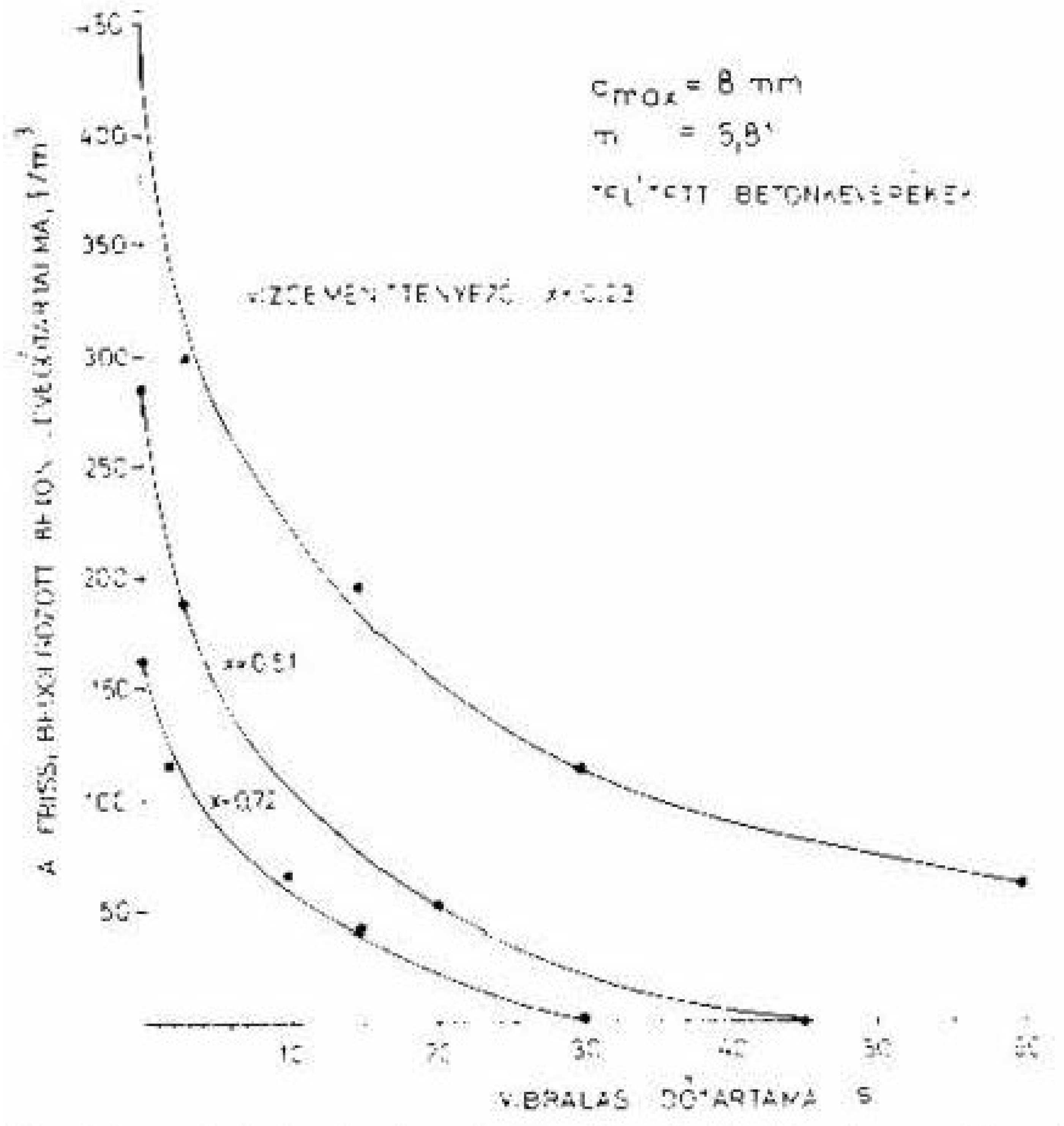
Az 1. fejezetben közölt, a levegőtartalmat számításba vevő eljárások mindegyike a friss, bedolgozott beton levegőtartalmából indul ki. A betonszerkezeteknek azonban a terheléseket megszilárdult állapotukban kell elviselniük, ezért nemcsak a friss, hanem a megszilárdult beton levegőtartalmának a kialakulását is figyelemmel kell kísérni. A megszilárdult betonban a cementpép tartalom, a tömörítés és a kiszáradás változásai következtében maradhat vissza levegő.



4. ábra: A bedolgozott friss beton levegőtartalmának változása a telítettségtől függően

A beton adalékanyaga szemcsés halmaz, amely tömörített állapotban is tartalmaz hézagokat. A cementpép részben ezeket a hézagokat tölti ki, részben az inert adalékanyag szemcsék felületét vonja be (s ezáltal azokat szilárd vázzá egyesíti). Ha a cementpép éppen olyan térfogatú, mint amennyi a hézagok kitöltéséhez és a felületek bevonásához szükséges, akkor a beton cementpéppel telített. Ha ezt a betonkeveréket kellő mértékben tömörítjük, akkor a bedolgozott friss beton levegőtartalma zérus. Ha a cementpéptartalom a telítéshez szükségesnél kevesebb, akkor a jól tömö-

rített friss beton sem levegőmentes. Ha a tényleges cementpép tartalmat a telítéséhez szükséges péptartalom százalékában fejezzük ki, akkor a friss beton levegőtartalma a 4. ábra szerint változik. Az ábrából leolvasható, hogy a levegőtartalom változása nemcsak a telítettség %-ban kifejezett értékének, hanem a telítéshez szükséges péptartalomnak, azaz az adalékanyag pépigényének a függvénye. Ha a beton túltelített, akkor a jól tömörített friss beton levegőtartalma zérus.

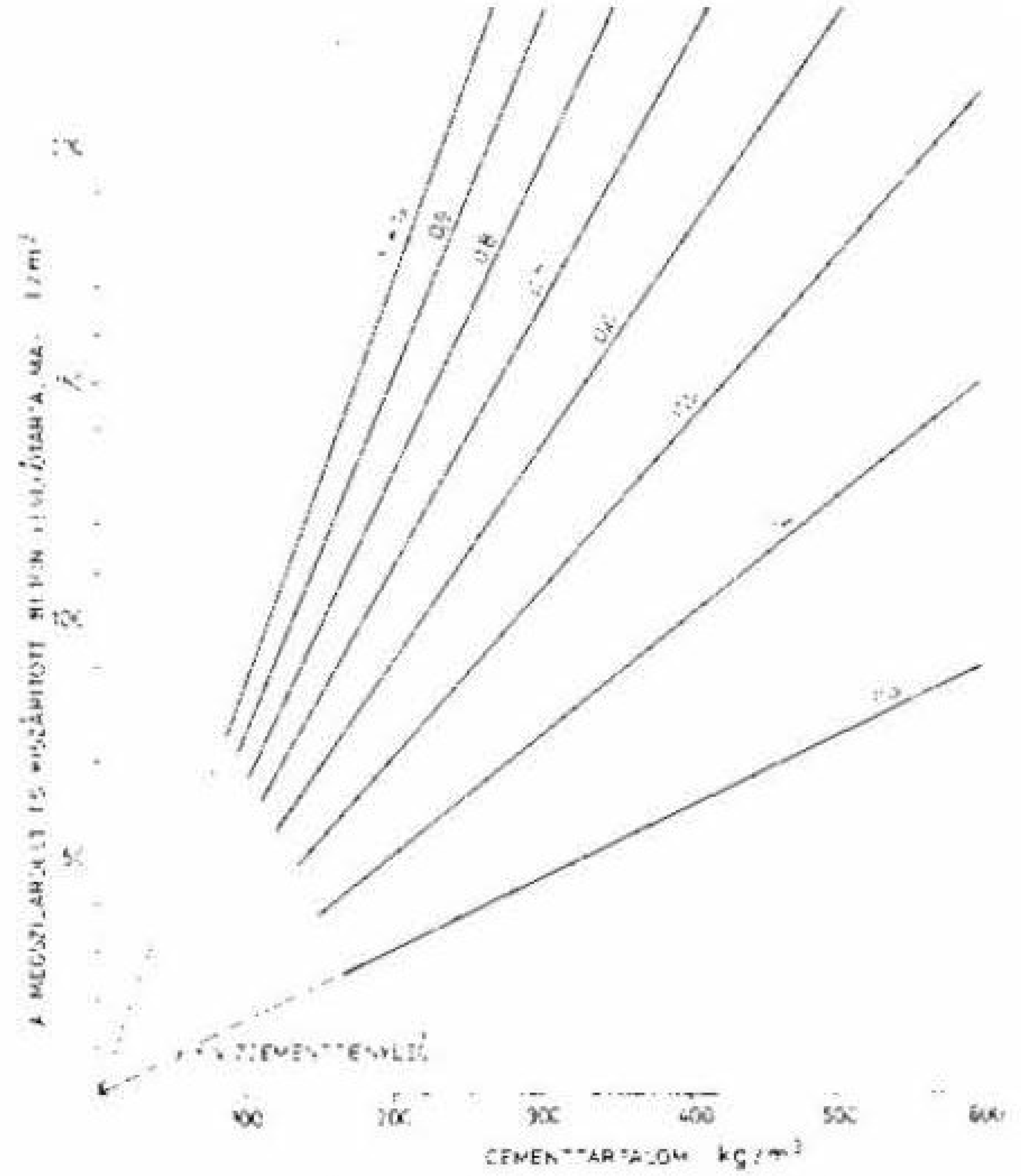


5. ábra: A friss beton levegőtartalmának a változása a tömörítéstől függően

A cementpép tartalom hatását vizsgálva feltételeztük, hogy a betonkeveréket jól tömörítettük. Ha a tömörítés elégtelen, akkor a telítettnek megfelelő keverési arányú beton sem lesz friss állapotban levegőmentes. Az 5. ábrán telített betonkeverékekből készített olyan betonok friss állapotban mért levegőtartalmát tüntettük fel, amelyek asztalvibrátorral különböző ideig tömörítve váltak pórusmentessé, a szükségesnél kevesebb ideig tömörítve azonban levegőtartalmuk növekszik. Az ábra szerint adott tömörítési idő mellett a levegőtartalom a keverék víz/cement tényezőjétől, azaz konzisztenciájától is függ.

A 4. és 5. ábrákon a friss beton levegőtartalma látható. A megszilárdult és kiszárított beton levegőtartalma mindig nagyobb a friss betonénál, mert a készítési víz egy része elpárolog. Első közelítéssel feltételezhető, hogy a cement tömegének kb. 15 %-át kitevő vízmennyiség kötődik le kémiailag. Ebből kiindulva a friss, betömörített beton levegőtartalmának és a beton összetételének az ismeretében kiszámítható a megszilárdult és kiszárított beton levegőtartalma s ez – első közelítésben – a 6. ábra szerint alakul. Az ábrából látható, hogy mind a cementtartalom, mind a víz/cement tényező növelése a megszilárdult beton levegőtartalmának a növekedését vonja maga után.

Ha a betonkeverék a telítetthez szükséges péptartalomnál kevesebbel készült, és ha a tömörítés nem volt megfelelő, akkor a megszilárdult és kiszárított beton levegőtartalma a péphiány okozta levegőtartalomnak, a nem kielégítő tömörítés következtében létrejövő levegőtartalomnak és a kiszáradás miatti levegőtartalomnak az összege.


6. ábra: A friss állapotban levegőmentes, megszilárdult beton levegőtartalma

Az adalékanyag pépigényét a szemmegoszlás (a szemcsék fajlagos felülete és a halmaz hézagtartalma), a betonkeverék tömörítési igényét a beton bedolgozhatósága (konzisztencia, péptartalom, víz/cement tényező), a kiszáradás miatti levegőtartalmat a beton összetétele (cement- és víztartalom) határozza meg. A levegőtartalom mértékét tehát több tényező együttesen befolyásolja, így a beton levegőtartalma nem fejthet ki független hatást a beton tulajdonságaira (pl. nyomószilárdságára), hanem csak a beton egyéb paramétereivel együtt, azokkal összefüggésben.

A következő fejezetben ezeknek az összefüggéseknek felderítésére végzett vizsgálataimat foglalom össze.

3. A levegőtartalom hatásának vizsgálata

A következőkben az alábbi jelöléseket alkalmazzuk:

Fajlagos tömeg adatok: m_c = a beton cementtartalma, kg/m^3
m_a = a beton adalékanyag tartalma, kg/m^3
m_v = a beton víztartalma, kg/m^3
m_p = a beton péptartalma, kg/m^3

Fajlagos térfogat-adatok V_c = a betonban lévő cement tömör térfogata, liter/m^3
V_a = a betonban lévő adalékanyag tömör térfogata, liter/m^3
V_v = a friss, bedolgozott beton víztartalma, liter/m^3
V_{kv} = a kémiailag között víz mennyisége, liter/m^3
V_{fl} = a bedolgozott friss beton levegőtartalma, liter/m^3
V_l = a megszilárdult, száraz beton levegőtartalma, liter/m^3
V_p = a beton cementpép tartalma, liter/m^3

A telített és bedolgozott friss állapotában levegőmentes beton adatai:

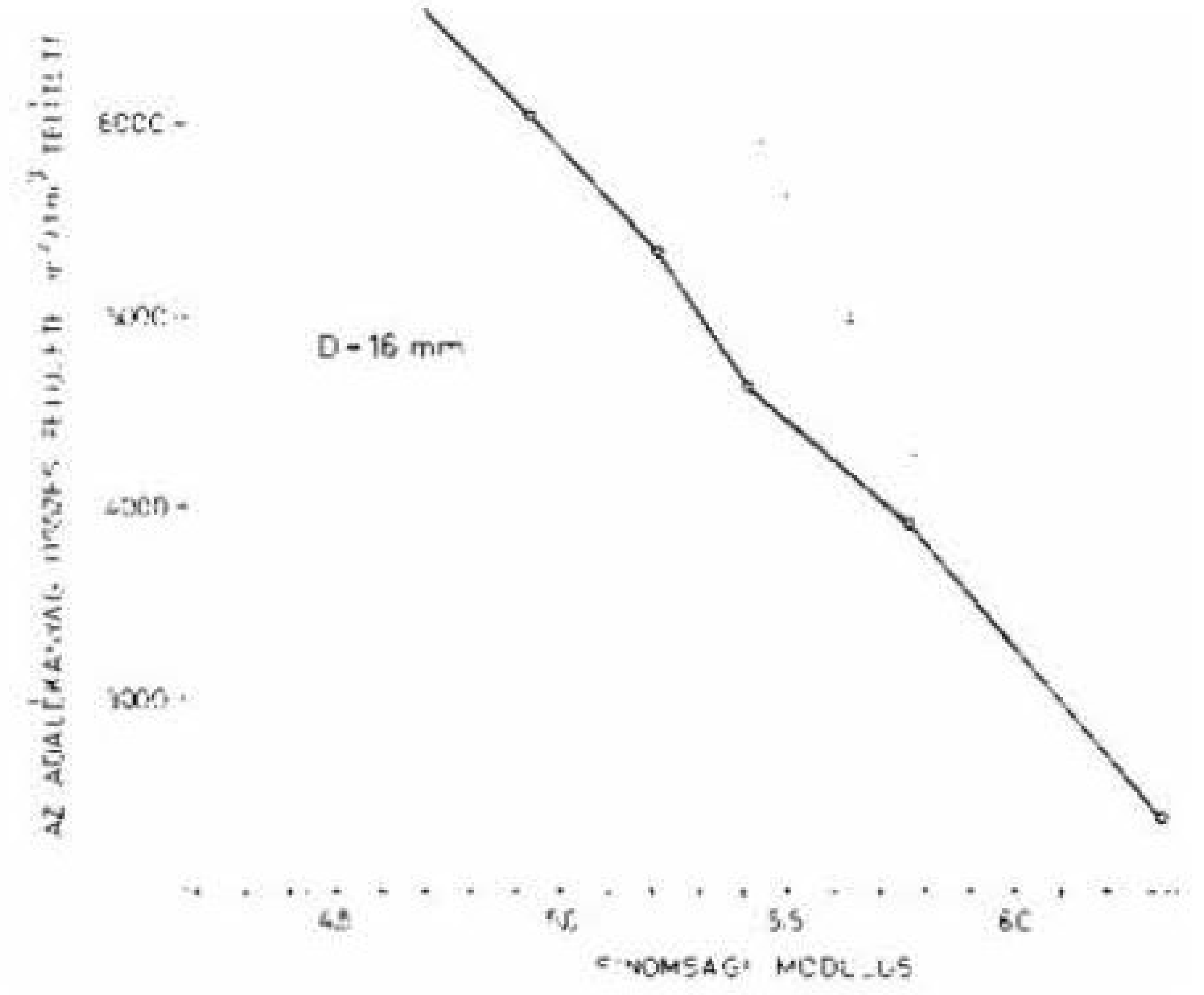
m_{co}, m_{ao} és m_{po} = cement-, adalékanyag- és cementpép-tartalom, kg/m^3
V_{co}, V_{ao}, V_{vo}, V_{po} és V_{lo} = cement-, adalékanyag-, víz-, cementpép- és levegőtartalom, liter/m^3

Egyéb adatok:

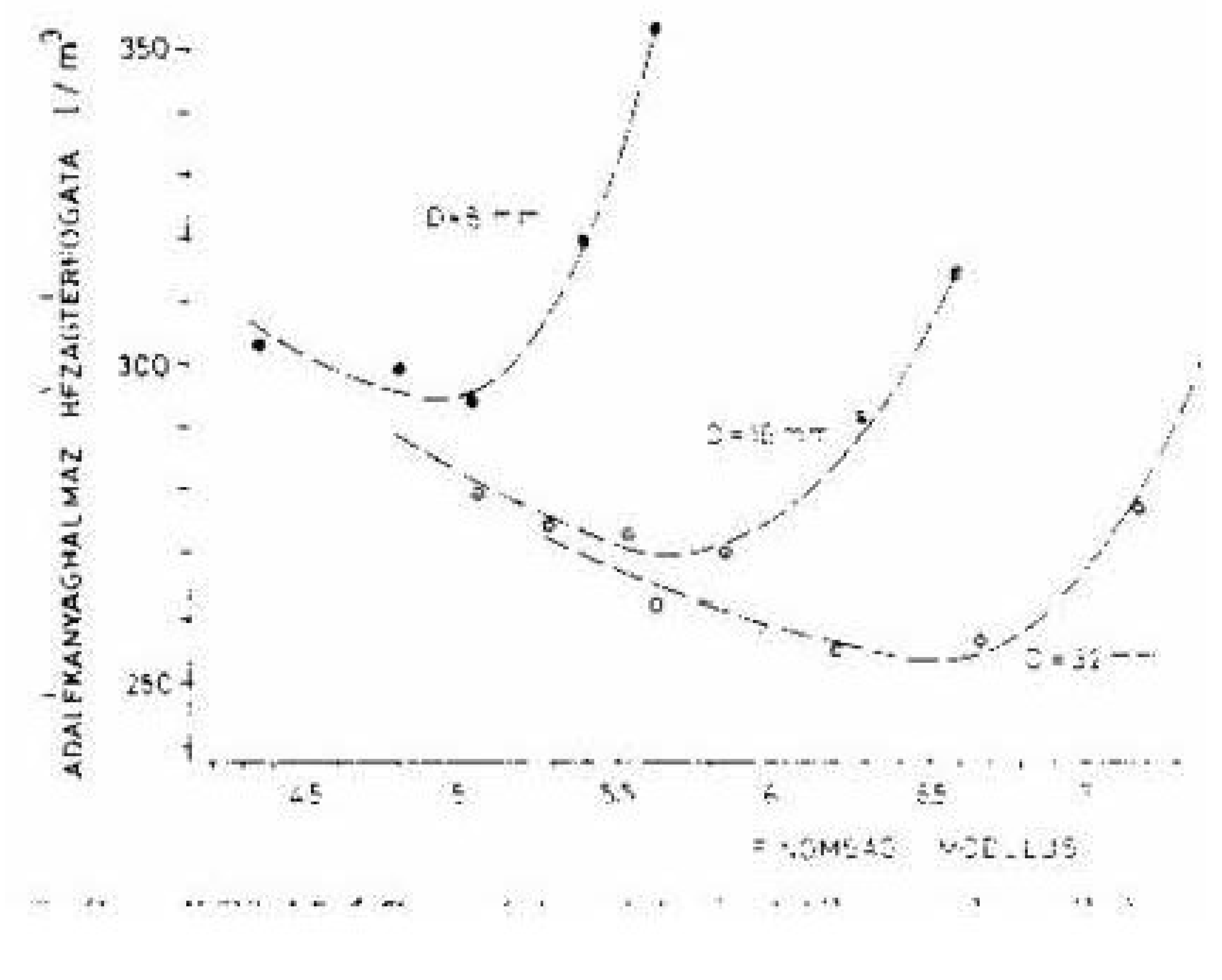
S_c és S_a = a cement és az adalékanyag fajsűrűsége, g/cm^3
D = az adalékanyag legnagyobb szemnagysága, mm
m = az adalékanyag finomsági modulusa (kvadratikus, négyzetlyukú szitasorozaton mérve)
m_o = a minimális pépigényű adalékanyag finomsági modulusa
x = a víz/cement tényező (tömeg szerint)
ρ_{fb} = a bedolgozott friss beton testsűrűsége, kg/m^3
ρ_b = a beton testsűrűsége megszilárdult, száraz állapotban, kg/m^3

3.1. Az adalékanyag pépigénye

Mint előbb mondottuk, a cementpép feladata a szemcsék felületének bevonása vékony pép-filmmel és a halmaz hézagainak a kitöltése. Az adalékanyag szemcsék felülete a finomrész tartalom növekedésével (azaz *m* csökkenésével) együtt növekszik. Például 1 kg 0,1-0,15 mm-es szemnagyságú halmaz felülete 18,2 m^2, ugyanakkor 1 kg 8-16 mm –es halmazé csak 0,19 m^2. Ennek megfelelően különböző (folyamatos) szermmegoszlású, D = 16 mm-es halmaz összes felülete a 7. ábra szerint változik.

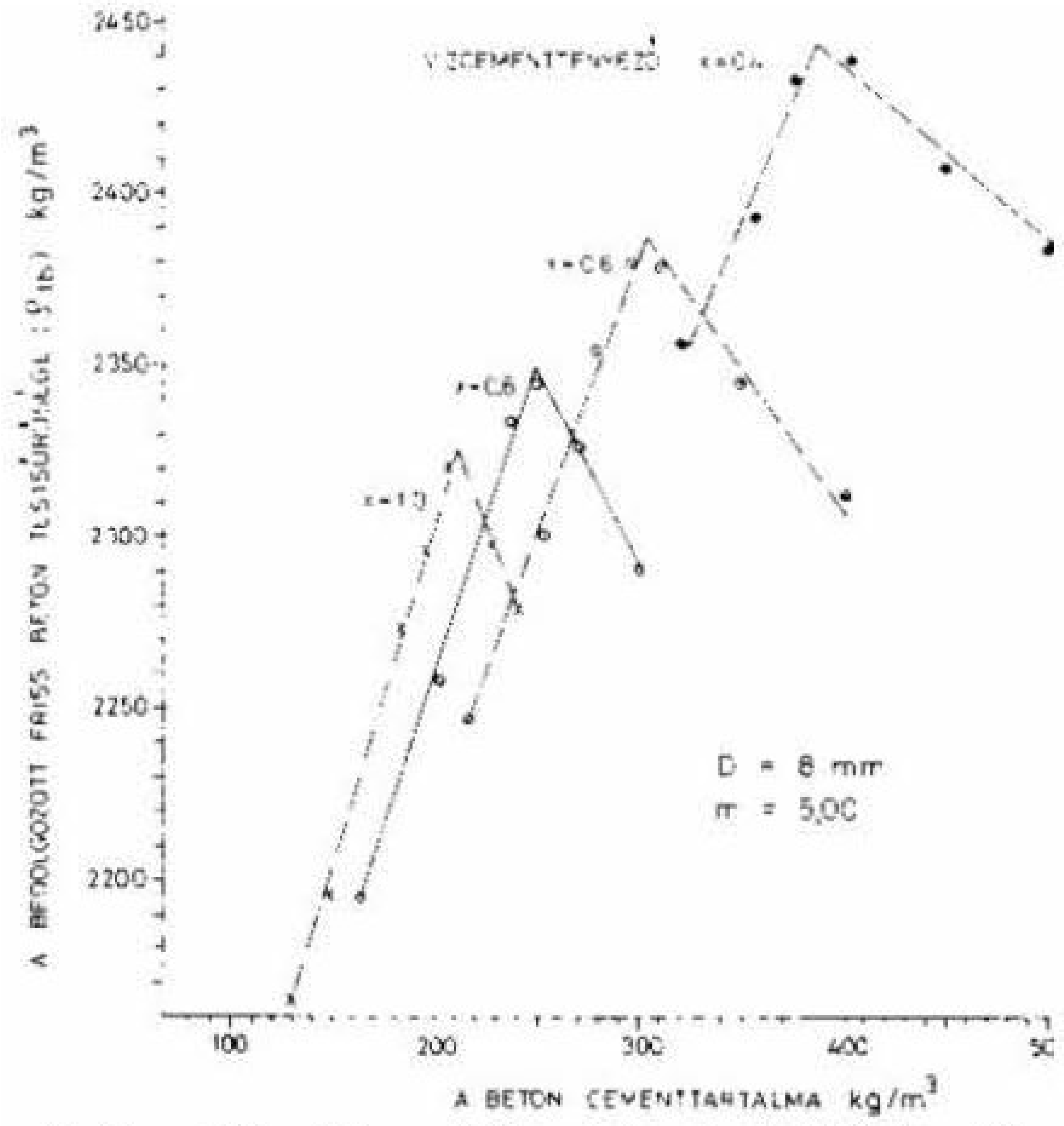


7. ábra: D = 16 mm-es adalékanyag fajlagos felületének a változása



8. ábra: Különböző finomsági modulusú adalékanyag-keverékek hézagtérfogata

Az adalékanyag halmaz hézagtérfogata a különböző méretű szemcsék arányától függ; ahogy azt már *Joisel* kimutatta [11], minden legnagyobb szemnagysághoz tartozik egy olyan folyamatos szemmegoszlás, amely mellett a halmaz hézagtérfogata minimális. Vizsgálataink eredményeképpen néhány adalékanyag-keverék hézagtérfogatának változását szemlélteti a 8. ábra.



9. ábra: A bedolgozott friss beton testsűrűsége különböző víz/cement tényező mellett

A cementpép igényt a felület- és a hézagtérfogat együttesen határozzák meg, azaz a pépigényt a 7. és 8. ábrák szerinti összefüggések valamilyen szuperpozíciójából lehet kialakítani. Elméletileg a pépigény számítható lenne, ha ismernénk a pépfilm vastagságát, ennek meghatározása azonban igen bonyolult. Ehelyett laboratóriumi vizsgálatokat végeztünk különböző szemmegoszlású dunai homokos kavics adalékanyagokból készített, különböző péptartalmú betonokkal. E vizsgálatokból példaképpen a 9. ábrán mutatjuk be a jól tömörített betonok testsűrűségének a változását a cementtartalom függvényében D = 8 mm és m = 5,0 adalékanyag esetére. Adott x mellett kezdetben fokozatosan nő a beton testsűrűsége, majd a maximális érték elérése után fokozatosan csökken. A maximális testsűrűséghez tartozó összetétel, megfelelő tömörítéssel friss állapotban levegőmentes betont ad.

Valamennyi adalékanyaggal végzett vizsgálataink eredményeképpen szerkesztettük meg a 10. ábrát az adalékanyag szemmegoszlásának és pépigényének az összefüggésére. Az ábrán feltüntettük az egyenesek egyenleteit is. Ennek megfelelően a különböző legnagyobb szemnagyságú és finomsági modulusú dunai homokos kavicsok pépigényét az alábbi összefüggésből lehet meghatározni:

ha $m \leq m_o$:

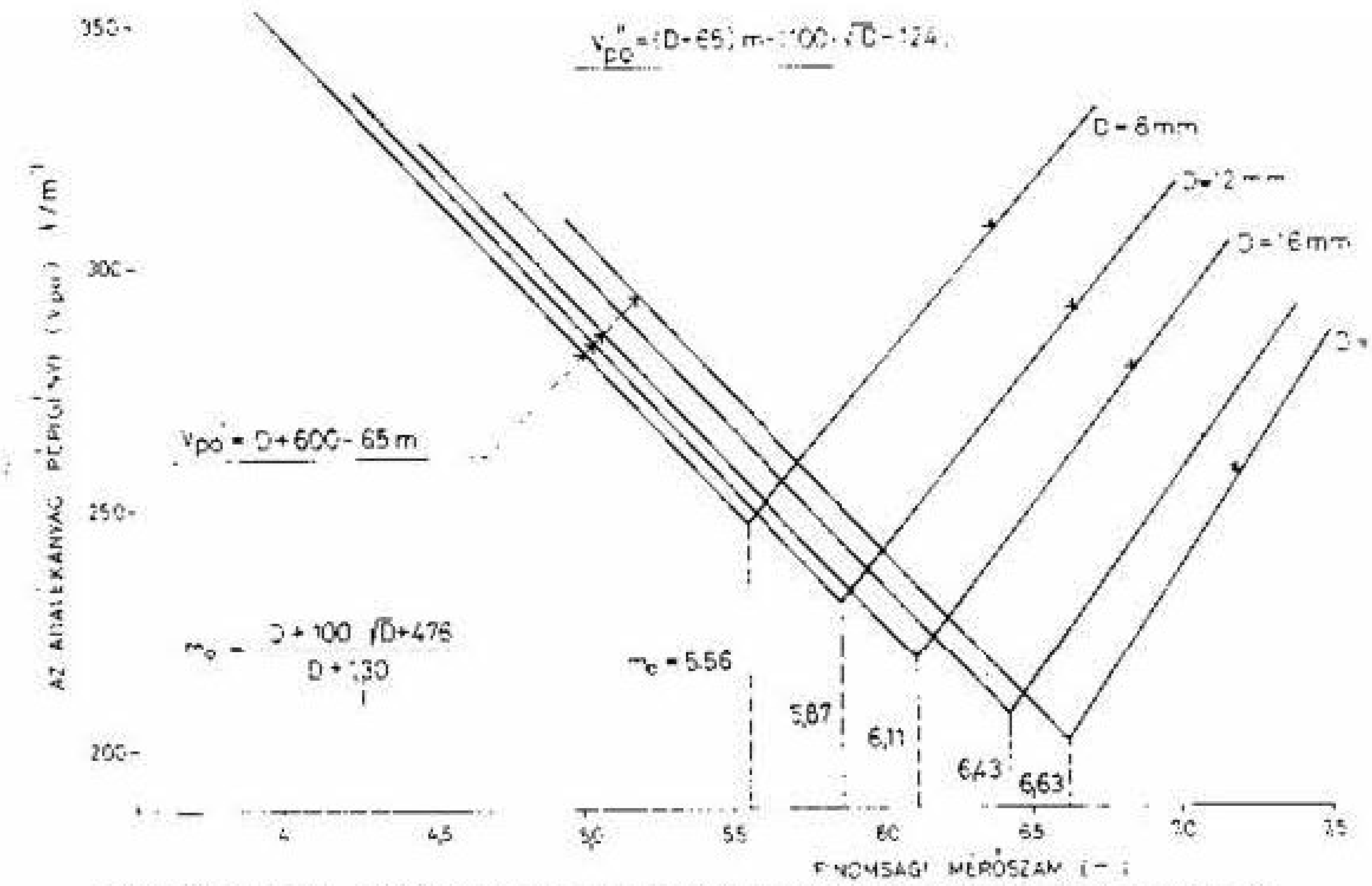
$$V'_{po} = D + 600 - 65.m \quad (3)$$

Ha $m \geq m_o$:

$$V''_{po} = (D+65).m - (100.D^{0,5}-124) \quad (4)$$

és a (3) és (4) kifejezés egyenlőségéből következően:

$$m_o = \frac{D+100\sqrt{D}+476}{D+130} \quad (5)$$



10. ábra: Az adalékanyag pépigénye (dunai homokos kavics)

Adott szemnagyság mellett a minimális pépigényű adalékanyag szemmegoszlása az I. minőségi tartományban helyezkedik el, az *A* és *B* határgörbék között (lásd MI-04.19), mégpedig *D = 8 mm* esetén az *A* határgörbe közelében, majd fokozatosan növekvő *D* mellett a szemmegoszlás fokozatosan közelebb kerül a *B* határgörbéhez.

3.2. *A péptartalom számítása*

A péptartalom a beton 1 m^3-ében levő cement tömör térfogatának és a víz térfogatának az összege. A cement tömör térfogata – minthogy sűrűsége jó közelítéssel átlagosan $S_c = 3{,}1\ g/cm^3$ értékűre vehető fel – a következő:

$$V_c = m_c : S_c = m_c : 3{,}1 = 0{,}323.m_c \tag{6}$$

A víz sűrűsége $S_v = 1\ g/cm^3$, ezért $m_v = V_v$. A beton péptartalma $V_p = V_c + V_v$. Ha V_c értékét a (6) kifejezés, V_v értékét pedig $(V_v : m_c)\ .\ m_c = x\ .\ m_c$ kifejezés szerint behelyettesítjük, akkor

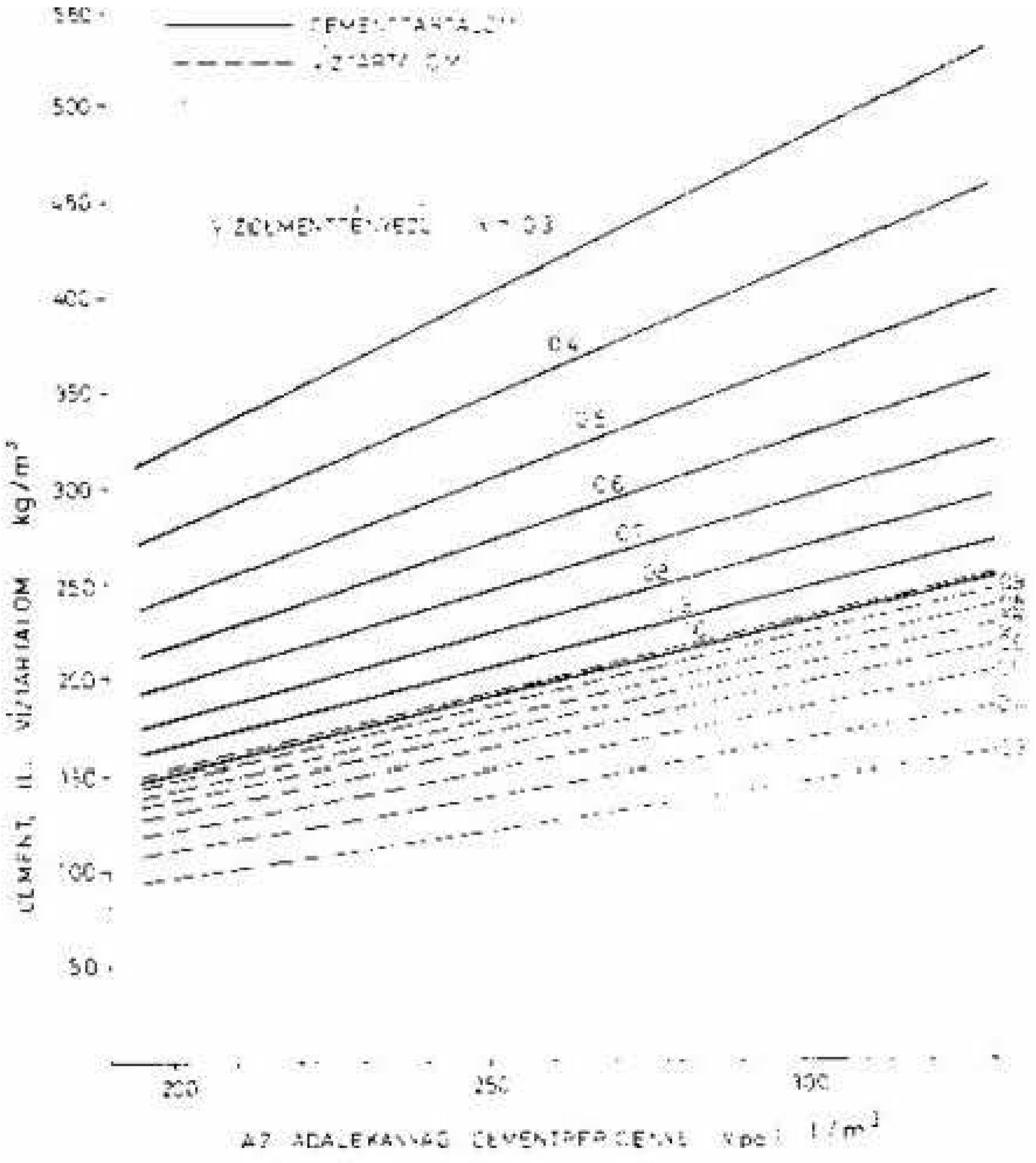
$$V_p = 0{,}323\ .\ m_c + x\ .\ m_c = m_c\ .\ (0{,}323 + x) \tag{7}$$

és ebből a telített beton készítéséhez szükséges m_{co} cementtartalom:

$$m_{co} = \frac{V_{po}}{x + 0{,}323} \tag{8}$$

míg a telített beton készítéséhez szükséges víztartalom:

$$m_{vo} = V_{vo} = V_{po} - 0{,}323\ .\ m_{co} \tag{9}$$



11. ábra: A telített beton cement- és víztartalma

A (8) és (9) kifejezések nomogramot határoznak meg, ezt a 11. ábrán rajzoltuk meg.

Ha a tényleges V_p péptartalom $V_p < V_{po}$, akkor a beton telítetlen, ha $V_p = V_{po}$, akkor a beton telített és végül, ha $V_p > V_{po}$, akkor a beton túltelített.

3.3. *A beton levegőtartalmának számítása*

A mechanikai tulajdonságokat a beton megszilárdult állapotában vizsgáljuk, ezért a megszilárdult beton fizikai jellemzőinek az összefüggését célszerű keresnünk a mechanikai tulajdonságokkal. Bármilyen összetétellel, bármilyen módon készítettük el a betont, a péptartalom, a tömörítés és az elpárolgó víz következtében kialakult levegőtartalom a megszilárdult beton levegőtartalmában összegeződik. Ezért a következőkben a 28 napos korú megszilárdult beton levegőtartalmának a meghatározásával foglalkozunk, amely csak kémiailag kötött vizet tartalmaz.

Ha a beton cementpéppel telített ($V_p = V_{po}$) és megfelelően tömörített, akkor a bedolgozott friss állapotában levegőtartalma $V_{fl} = 0$. A friss beton levegőtartalmának értékét az ismert

$$V_{fl} = 1000 - \left(\frac{m_c}{S_c} + \frac{m_a}{S_a} + m_v \right) \tag{10}$$

egyenletből kapjuk. A hazai cementekre $S_c = 3{,}1\ g/cm^3$, a homokos kavics adalékanyagokra $S_a = 2{,}64\ g/cm^3$ átlagértékek jó közelítést jelentenek, tehát

$$V_{fl} = 1000 - (0{,}323\ .\ m_c + 0{,}379\ .\ m_a + m_v) \tag{11}$$

A megszilárdult száraz betonban változatlan marad a cement és az adalékanyag tömege, míg a készítési víz egy része elpárolog. *Powers* és *Brownyard* kísérletei szerint [12] a lekötött víz mennyisége a víz/cement tényezővel arányos. A vizsgálatainkhoz felhasznált 450-es minőségű hazai cementek által kémiailag lekötött víz mennyiségét (V_{kv}) *Powers* és *Brownyard* után az alábbi összefüggésből lehet meghatározni:

$$V_{KV} = z \cdot m_c \qquad (12)$$

ahol *z* értéke:

$x \leq 1,0$ esetén $\qquad z = 0,1 \cdot x + 0,08 \qquad (13)$

$x \geq 1,0$ esetén $\qquad z = 0,05 \cdot x + 0,13 \qquad (14)$

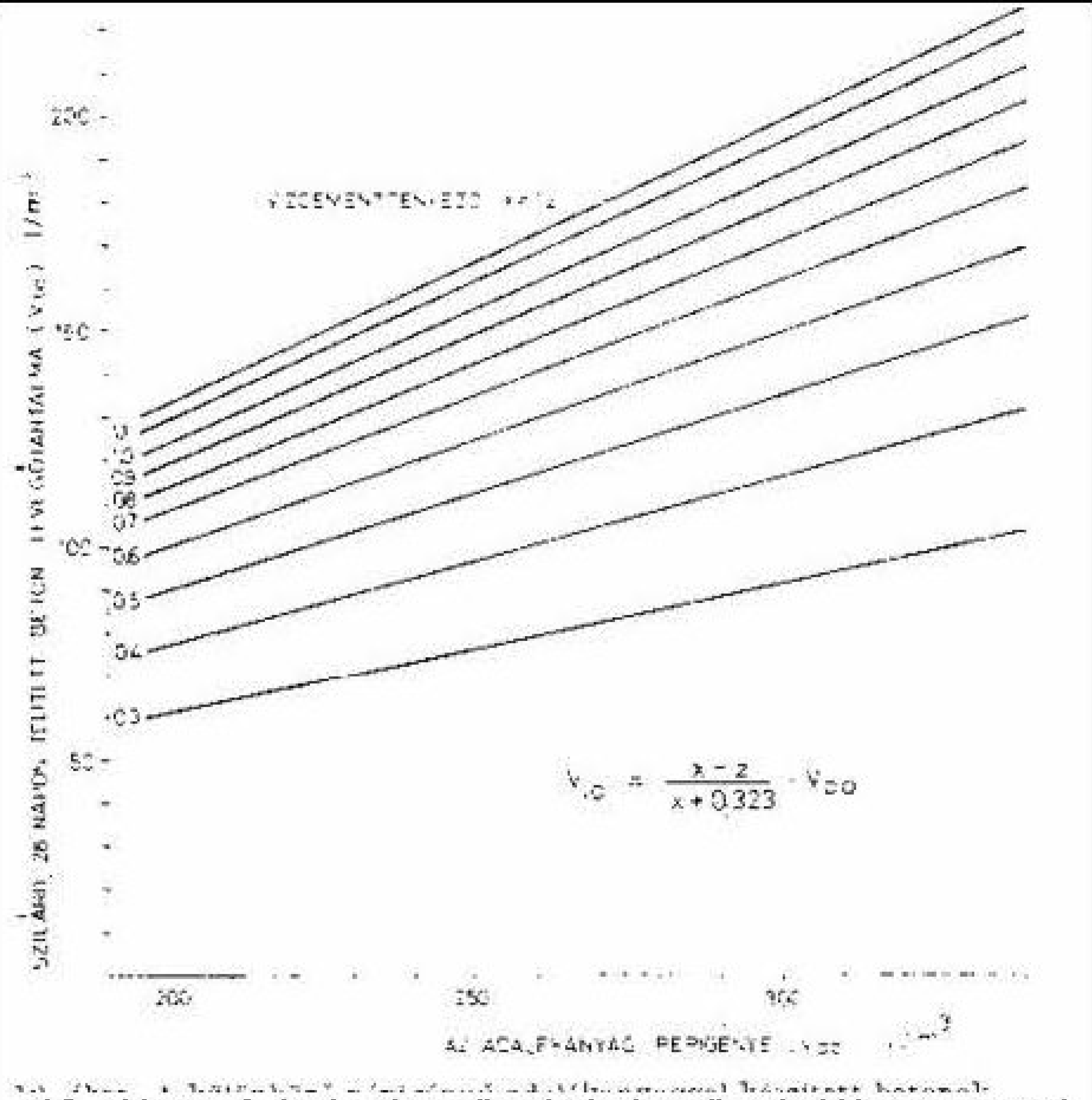
Pl. $x = 0,6$ víz/cement tényező mellett $V_{kv} = (0,1 \cdot 0,6 + 0,08) \cdot m_c = 0,14 \cdot m_c$, azaz a cement tömegének 14 %-a.

A kémiailag kötött vízmennyiségen felüli víz elpárolog, a kialakult kapillárisokban levegő marad vissza. Ha a beton cementpéppel telített ($V_p = V_{po}$) és levegőtartalma bedolgozott, friss állapotában $V_{fl} = 0$, akkor a 28 napos száraz beton levegőtartalma:

$$V_{lo} = m_{vo} - z \cdot m_{co} = m_{co} \cdot (x - z) \qquad (15)$$

A (8) és (9) szerinti kifejezéseket a (15).be behelyettesítve az alábbi összefüggést kapjuk:

$$V_{lo} = \frac{x - z}{x + 0,323} \times V_{po} \qquad (16)$$



12. ábra: A különböző pépigényű adalékanyaggal készített betonok minimális levegőtartalma

A V_{po} értékeit a (4) vagy (5) kifejezésekből az adalékanyag legnagyobb *D* szemnagysága és *m* finomsági modulusa alapján kell meghatározni, *z* értékét a (12) vagy (13) kifejezéseknek megfelelően, a víz/cement tényezőtől függően. Például $D = 16$ *mm* és $m = 5,5$ adalékanyagból, $x = 0,5$ víz/cement tényezővel készített telített, friss állapotban levegőmentes beton adatai a következők:

- pépigény a (4) kifejezésből:
  $V_{po} = 16 + 600 - 65.5,5 = 258$ *liter/m*^{3}
- cementtartalom a (8) kifejezésből:
  $m_{co} = 258 : (0,5 + 0,323) = 313$ *kg/m*^{3}
- víztartalom vagy a (9) kifejezésből, vagy:
  $m_{vo} = 313 \cdot 0,5 = 157$ *liter/m*^{3}
- kötött víz a (13) kifejezésből:
  $V_{kvo} = (0,1 \cdot 0,5 + 0,08) \cdot 313 = 41$ *liter/m*^{3}
- a szilárd beton levegőtartalma:
  $V_{lo} = m_{vo} - V_{kvo} = 116$ *liter/m*^{3}

illetve a szilárd beton levegőtartalma a (16) kifejezésből is meghatározható

$V_{lo} = 258 \cdot (0,5 - 0,13) : (0,5 + 0,323) = 116$ *liter/m*^{3}

A (16) összefüggés nomogramot fejez ki, ez a 12. ábrán látható. E nomogramból az adott pépigényű adalékanyagokkal készíthető betonkeverékek minimális levegőtartalma olvasható le a víz/cement tényezőtől függően, azaz a telített és jól tömörített betonoké ($V_{fl} = 0$).

Ha a beton jól van tömörítve, de telítetlen vagy túltelített, illetve ha telített, de nem kellő tömörségű, akkor V_l levegőtartalma egyaránt növekszik.

Az előző példa szerinti $V_{po} = 258$ *liter/m*^{3} pépigényű adalékanyaghoz $x = 0,5$ mellett keverjünk $m_c = 220$ *kg/m*^{3} cementet. Ha a betont kielégítően tömörítjük, akkor a cementpép tömör térfogata a (6) kifejezésből $V_c = 71$ *liter/m*^{3}, a víztartalom $V_v = 220 \times 0,5 = 110$ *liter/m*^{3}, a cementpép tartalom tehát: $V_c + V_v = 181$ *liter/m*^{3}. Ugyanezt az eredményt kapjuk a (7) kifejezésből: $V_p = 220 \times (0,323 + 0,5) = 181$ *liter/m*^{3}.

A bedolgozott friss beton levegőtartalma a péphiánnyal egyenlő, azaz $V_{fl} = 258 - 181 = 77$ *liter/m*^{3}, a megszilárdult beton levegőtartalma pedig $V_l = 77 + V_v - (0,1 \times 0,05 + 0,08) \times m_c = 158$ *liter/m*^{3} > 116 *liter/m*^{3}.

Folytatva a példát, készítsünk jól tömörített (V_{fl} = 0), 450 kg/m^{3}cementtartalmú betont változatlanul x = 0,5 víz/cement tényezővel. E beton levegőtartalma 28 napos korban (m_v = 450×0,5 = 225 liter/m^3 és V_{kv} = 0,13×450 = 59 liter/m^3 értékekből számítva) V_l = 225 – 59 = 166 liter/m^3.

Készítsük el a példa szerinti betonkeverékeket olyan keverési aránnyal, amely telített beton készítését teszi lehetővé. Ennek a keverési aránynak a számítása a következő:

Ha a telített betont jól tömörítjük, akkor a (11) képlet szerint:

$V_{fl} = 0 = 1000 – 0,323×m_c – 0,379×m_a – m_v$, amiből az adalékanyag szükséges tömege:

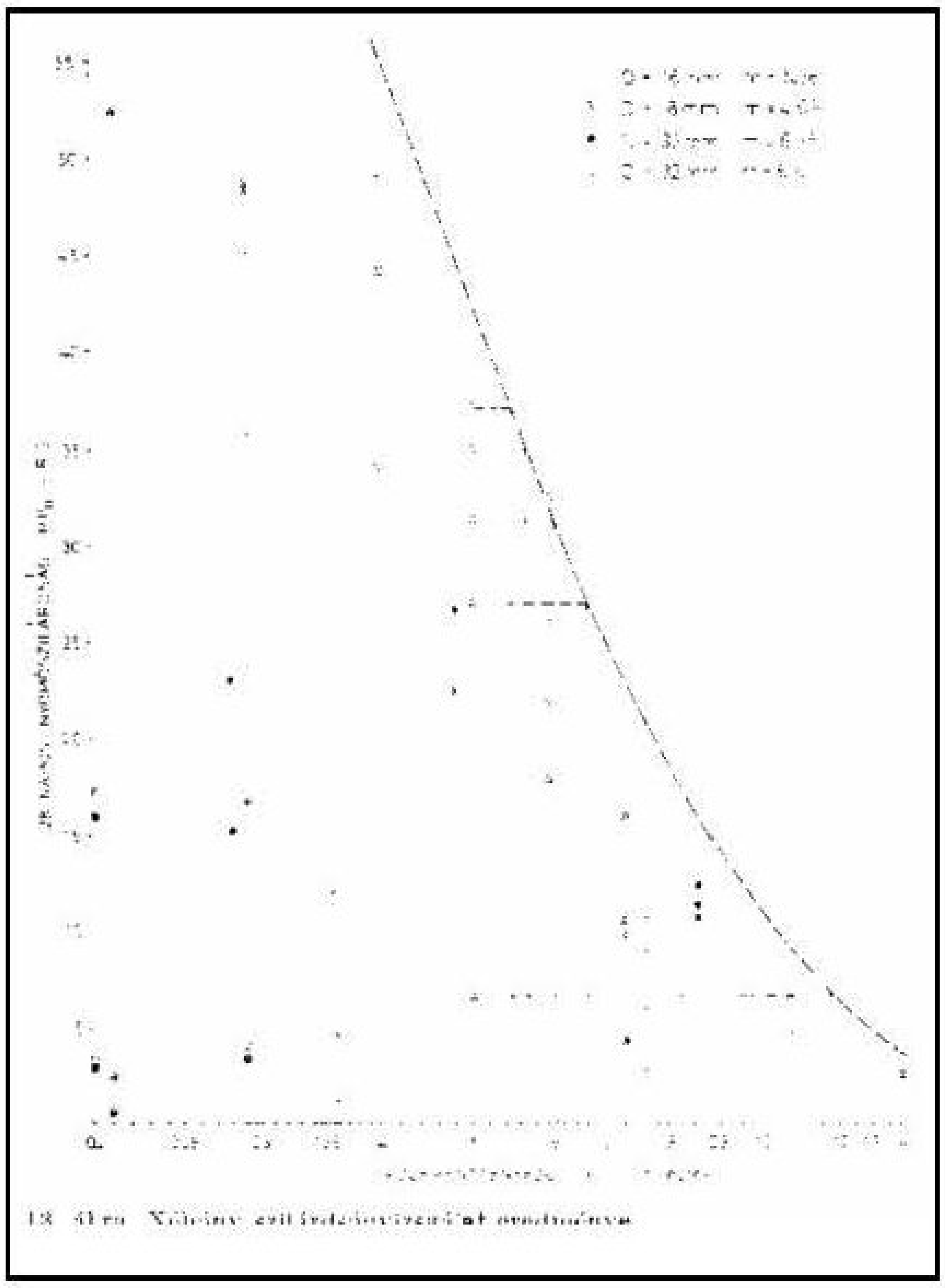
$$m_a = \frac{1000 - 0,323 \times m_c - m_v}{0,379} = \frac{1000 - V_{po}}{0,379} \qquad (16)$$

Minthogy m_c = 313 kg/m^3, m_v = 157 liter/m^3, ezért az adalékanyag szükséges tömege: m_a = 1958 kg/m^3. A beton keverési aránya tehát tömeg szerint (cement : víz : adalékanyag) = 1 : 0,5 : 6,26.

Ha ezzel a keverési aránnyal készített betont rosszul tömörítjük, testsűrűsége pl. csak ρ_{fb} = 2200 kg/m^3-re adódik bedolgozott friss állapotában. A beton összetétele e testsűrűség esetén: m_c = 284 kg/m^3, m_v = 142 kg/m^3, m_a = 1774 kg/m^3 és 1 m^3 beton tömör térfogata: $V_b = m_c . 0,323 + m_a . 0,379 + m_v$ = 92 + 672 + 142 = 906 liter/m^3, azaz levegőtartalma: $V_l = V_{fl} + (m_v – 37)$ = 199 liter/m^3 > 116 liter/m^3.

A beton levegőtartalma tehát mindig nagyobb lett a telített, jól tömörített betonhoz képest, akár a beton összetételét, akár tömörítését változtattuk meg, ha egyébként változatlan maradt a víz/cement tényező és az adalékanyag szemmegoszlása. A beton nyomószilárdságának változása követi a levegőtartalom változását, ahogy ezt a következőkben bemutatjuk.

3.4. A beton levegőtartalmának hatása a nyomószilárdságra



Az ÉTI Betontechnológiai osztályán végzett kísérletek során [8], [9] és [10] – mint ahogyan azt a bevezetőben említettük – számos különböző összetételű és tömörítésű betonpróbatestet készítettünk. E vizsgálatok néhány jellemző adatát az 1. táblázatban foglaljuk össze, a táblázat adatait a 13. ábrán dolgoztuk fel.

Válasszunk ki néhány adatot a D = 32 mm és m = 6,87 adalékanyaggal készített betonok közül, pl. az x = 0,5 víz/cement tényezővel készítetteket. Ha az 1. ábra szerinti burkológörbét a 13. ábrán felrajzoljuk, akkor látható, hogy a kiválasztott adatok esetében a nyomószilárdságok olyanok voltak, mintha a betonokat nem x = 0,5 víz/cement tényezőkkel készítettük volna. Minthogy a burkológörbe adott víz/cement tényező mellett a legkedvezőbb összetételű és készítésű, azaz telített és megfelelően tömörített, tehát a legkisebb V_{fl} levegőtartalmú betonok szilárdságát jellemzi, ezért nyilvánvaló, hogy akár a betonösszetételben, akár a tömörítésben az eltérés a szilárdság csökkenését vonja maga után.

Az 1. táblázat x' oszlopában azokat a víz/cement tényezőket tüntettük fel, amelyek a mért nyomószilárdsághoz a burkológörbe szerint tartoznak. Ezt a továbbiakban módosított víz/cement tényezőnek nevezzük. A táblázat α jelű oszlopában a módosított víz/cement tényező (x') és a tényleges víz/cement tényező (x) hányadosa található, azaz

$$\alpha = \frac{x'}{x} \quad \text{illetve } x' = \alpha . x \qquad (18)$$

A táblázat V_{lo} jelű oszlopában a (16) képlettel kiszámított minimális levegőtartalmat tüntettük fel, a V_l jelű oszlopában a 28 napos száraz betonnak a beton összetételéből a (12) képlet segítségével számítható levegőtartalmát, a V_p jelű oszlopában pedig a beton tényleges péptartalmát.

Ha a nyomószilárdságot a felsorolt paraméterek közül a péptartalom függvényében vizsgáljuk, akkor az 1. táblázat *D = 32 mm*, *m = 6,87* adalékanyaghoz tartozó adataiból a 14. ábrához jutunk. Valamennyi azonos szemmegoszlású adalékanyagból és azonos víz/cement tényezővel, de különböző cementpép-tartalommal készített beton vizsgálati eredményeit feldolgozva ugyanilyen összefüggéseket kaptunk [13]: a nyomószilárdság változatlan víz/cement tényező mellett a telített beton esetében a legnagyobb; ha a beton fokozatosan telítetlenné válik, akkor a szilárdság rohamosan csökken, míg ha fokozatosan túltelítetté, akkor a szilárdság kisebb mértékben, de állandóan csekélyebb lesz.

1. táblázat

Betonpróbatestek vizsgálati eredményei (20 cm élhosszúságú kockák, 28 napos kor)

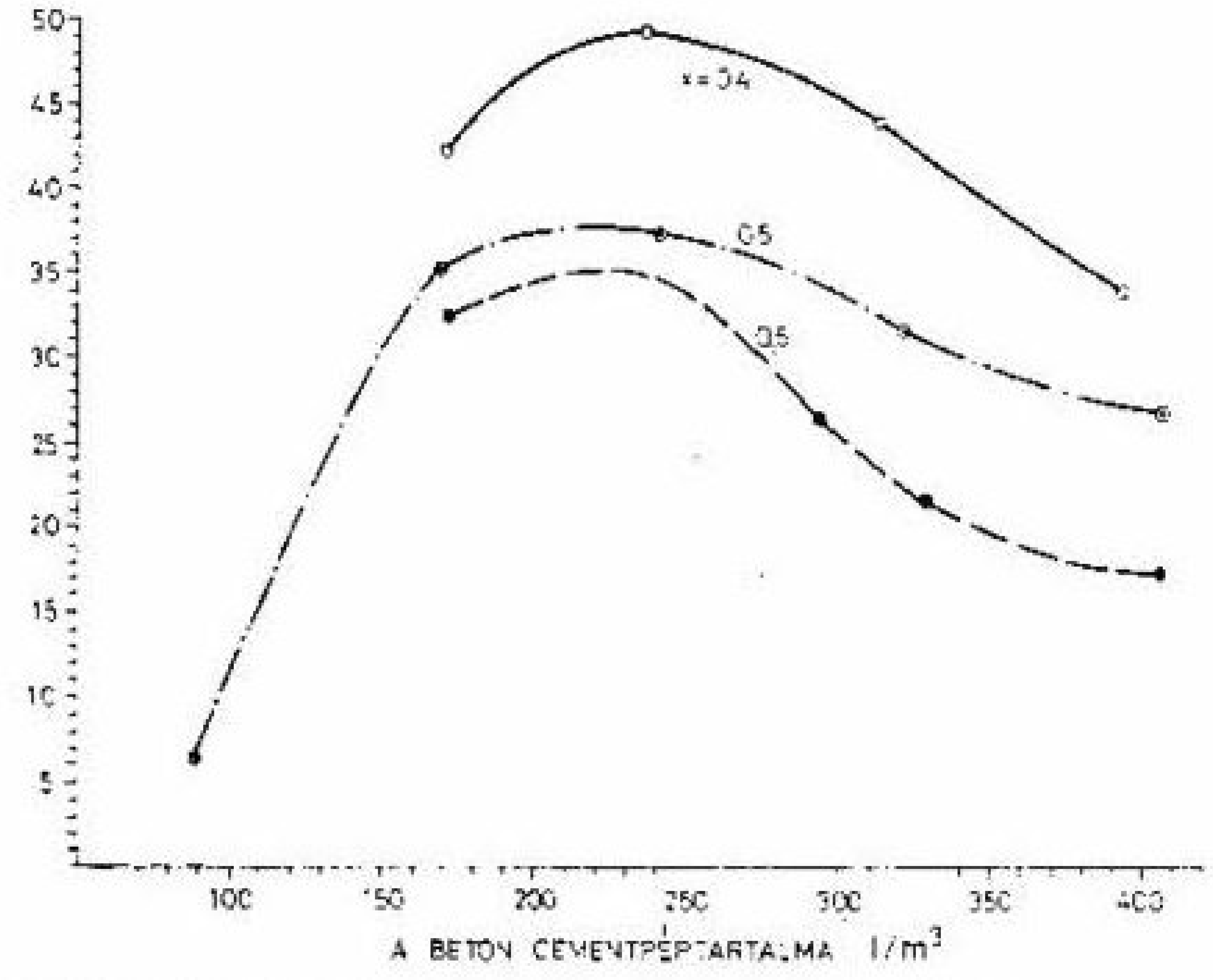
M_c	M_a	M_v	V_c	V_a	V_p	x	V_1	V_{10}	R	x'	α
$D = 16$ mm; $m = 5,36$; $V_{p0} = D + 600 - 65 \cdot m = 268$ liter/m³											
517	1548	104	167	586	271	0,20	195	51	17,2	0,83	4,15
440	1317	89	142	499	231		315		3,2	1,45	7,25
488	1641	141	157	622	298	0,29	168	79	35,6	0,56	1,93
443	1189	128	143	564	271		245		17,0	0,83	2,86
419	1739	121	135	659	256		159		32,9	0,59	2,03
501	1685	145	162	638	307		145		44,9	0,48	1,65
359	1206	104	116	457	220		388		4,0	1,37	4,71
389	1804	141	125	683	266	0,63	147	96	41,0	0,51	1,42
388	1800	141	125	682	266		148		36,3	0,56	1,56
332	1539	120	107	583	227		271		11,9	0,97	2,69
286	1329	104	92	503	196		372		4,5	1,32	3,67
259	1204	94	84	456	178		430		1,0	1,91	5,31
249	1829	189	80	693	188	0,76	188	150	14,3	0,90	1,18
251	1841	191	81	697	272		183		10,8	1,00	1,32
223	1633	169	72	619	241		274		5,8	1,23	1,62
239	1756	182	77	665	259		221		8,9	1,07	1,41
207	1522	158	67	577	225		324		3,0	1,52	2,00
198	1838	210	64	696	274	1,06	204	170	6,4	1,20	1,13
188	1747	199	61	662	260		243		4,6	1,32	1,25
$D = 8$ mm; $m = 4,69$; $V_{p0} = D + 600 - 65 \cdot m = 303$ liter/m³											
579	1580	124	187	598	311	0,21	157	62	52,3	0,42	2,00
419	1143	90	135	433	225		390		2,4	1,56	7,43
344	941	74	111	356	185		498		0,6	2,07	9,86
560	1565	163	181	593	344	0,29	165	89	48,7	0,45	1,55
571	1573	166	184	596	350		158		48,3	0,45	1,55
494	1381	144	159	523	303		264		16,8	0,84	2,90
416	1161	121	134	440	255		305		3,4	1,44	4,97
468	1562	224	151	592	375	0,48	197	133	26,5	0,67	1,40
447	1491	214	144	565	358		232		22,4	0,73	1,52
282	1751	203	91	663	294	0,72	203	165	15,9	0,86	1,19
279	1744	201	90	661	291		207		10,5	1,01	1,40
273	1705	197	88	646	285		225		9,8	1,04	1,44
239	1483	172	77	562	249		325		4,2	1,35	1,88
149	1808	210	48	685	258	1,41	237	212	2,5	1,55	1,10

1. táblázat folytatása

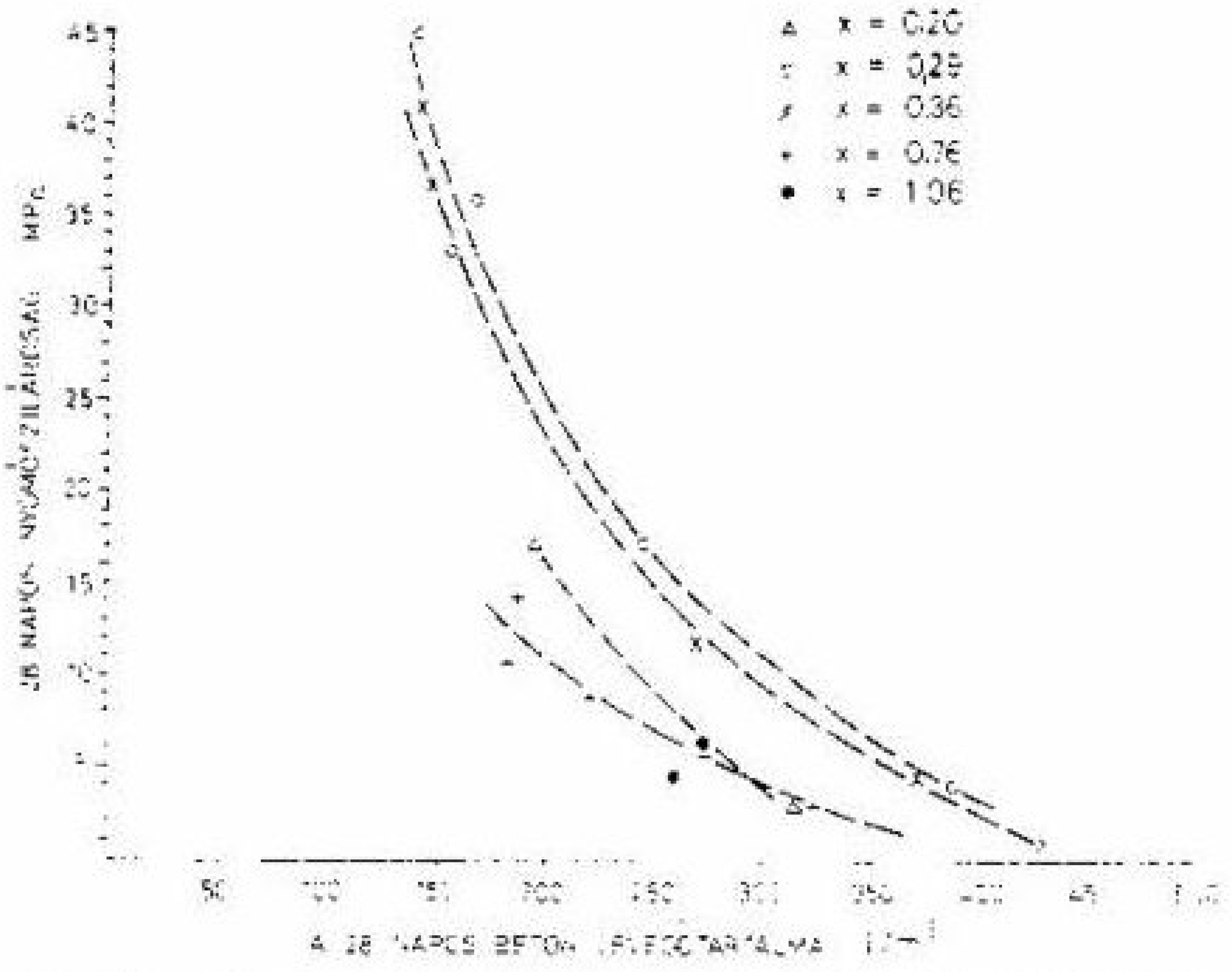
M_c	M_a	M_v	V_c	V_a	V_p	x	V_1	V_{10}	R	x'	α
$D = 32$ mm; $m = 6,38$; $V_{p0} = D + 600 - 65 \cdot m = 217$ liter/m³											
465	1619	95	150	613	245	0,20	190	41	16,0	0,86	4,30
409	1421	83	132	538	214		290		3,3	1,44	7,20
368	1804	104	119	683	223	0,28	159	62	23,1	0,72	2,57
361	1772	102	116	671	218		175		15,2	0,87	3,11
157	2073	135	51	785	186	0,86	138	127	12,4	0,95	1,10
157	2084	135	51	789	186		134		10,8	1,00	1,16
156	2068	134	50	783	184		141		11,3	0,98	1,14
$D = 32$ mm; $m = 6,87$; $V_{p0} = (D + 65) \cdot m - (100 \cdot D - 124) = 230$ l/m³											
237	2110	93	76	799	171	0,40	97	89	44,4	0,48	1,20
328	2008	131	106	761	237		94		49,2	0,44	1,10
434	1828	173	140	692	313		121		44,1	0,48	1,20
544	1644	218	175	623	393		153		34,0	0,58	1,45
107	1991	54	35	754	89	0,50	197	103	6,7	1,18	2,36
207	2100	103	67	795	170		111		35,0	0,57	1,14
294	2044	147	95	774	242		109		37,0	0,55	1,10
391	1868	195	126	708	321		144		31,7	0,61	1,22
495	1703	247	160	645	407		183		27,0	0,66	1,32
187	2130	112	60	807	172	0,60	107	115	32,5	0,60	1,00
263	2052	158	85	777	293		121		26,2	0,67	1,11
355	1894	213	115	717	328		163		21,8	0,74	1,23
444	1711	266	143	648	409		204		17,9	0,81	1,35

Ha az adatokat a beton V_l levegőtartalmának a függvényében ábrázoljuk, akkor pl. az 1. táblázat *D = 16 mm, m = 5,36* adalékanyaghoz tartozó eredményekből a 15. ábrát szerkeszthetjük meg. Ha valamennyi vizsgálati adatunkat a 15. ábrához hasonlóan a levegőtartalom szempontjából kiértékeljük, akkor a nyomószilárdság változása a levegőtartalom függvényében az ábra szerinti tendenciájú: változatlan víz/cement tényező mellett a levegőtartalom növekedése a beton nyomószilárdságának rohamos csökkenését vonja maga után.

Ebből következően a beton nyomószilárdságának előbecsléséhez a víz/cement tényező mellett a péptartalom és a levegőtartalom figyelembe vétele indokolt. Azt kell tehát megvizsgálni, hogy a módosított víz/cement tényezőnek a (18) kifejezés szerinti számításához szükséges α szorzófaktora a péptartalommal és a levegőtartalommal összefügg-e és ha igen, akkor ezt az összefüggést hogyan lehet matematikailag kifejezni.



14. ábra. A beton nyomószilárdsága a cementpép-tartalom függvényében



15. ábra. A beton nyomószilárdsága a levegőtartalom függvényében

A részletszámítások mellőzésével csak a végeredményt közöljük:

ha a beton telítetlen ($V_p < V_{po}$), akkor

$$\alpha = 1 + \frac{V_l - V_{lo}}{V_{lo}} \times \left(1 + \frac{V_{po} - V_p}{V_{po}}\right) \qquad (19)$$

ha a beton túltelített ($V_p > V_{po}$), akkor

$$\alpha = 1 + \frac{V_l - V_{lo}}{V_{lo}} \times \frac{V_{po}}{V_p} \qquad (20)$$

A 2. táblázatban összefoglaltuk az 1. táblázat adataiból a (19) és a (20) kifejezésekkel végzett számításaink eredményeit és az adatokat a 16. ábrán is felrajzoltuk. A 16. ábrát összehasonlítjuk a 13. ábrával: a nyomószilárdság a módosított víz/cement tényező függvényében kielégítő módon rendeződött.

2. táblázat: Az 1. táblázat adatainak feldolgozása

R	x'	α	$\frac{V_1 - V_{10}}{V_{10}}$	$\frac{V_{p0} - V_p}{V_{p0}}$	$\frac{V_{p0}}{V_p}$	4·5	4·6	α'	$\alpha' \cdot x$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$D = 16$ mm; $m = 5{,}36$									
17,2	0,83	4,15	2,82	—	0,99	—	2,79	3,79	0,76
3,2	1,45	7,25	5,31	0,14	—	0,73	—	7,04	1,41
35,6	0,56	1,93	1,13	—	0,90	—	1,02	2,02	0,59
17,0	0,83	2,80	2,10	—	0,99	—	2,08	3,08	0,89
32,9	0,59	2,03	1,01	0,04	—	0,05	—	2,06	0,60
44,9	0,48	1,65	0,84	—	0,87	—	0,73	1,73	0,50
4,0	1,37	4,71	3,91	0,18	—	0,70	—	5,61	1,63
41,0	0,51	1,42	0,53	0,01	—	0	—	1,53	0,55
36,3	0,56	1,56	0,54	0,01	—	0	—	1,54	0,55
11,9	0,97	2,69	1,82	0,15	—	0,28	—	3,10	1,12
4,5	1,32	3,67	2,58	0,27	—	0,77	—	4,65	1,67
1,0	1,91	5,31	3,48	0,34	—	1,17	—	5,65	2,03
14,3	0,90	1,18	0,25	0,30	—	0,07	—	1,32	1,00
10,8	1,00	1,32	0,22	—	0,99	—	0,22	1,22	0,93
5,8	1,23	1,62	0,83	0,10	—	0,08	—	1,91	1,45
8,9	1,07	1,41	0,47	0,03	—	0,02	—	1,49	1,13
3,0	1,52	2,00	1,16	0,16	—	0,19	—	2,35	1,79
6,4	1,20	1,13	0,20	—	0,98	—	0,20	1,20	1,27
4,6	1,32	1,25	0,43	0,03	—	0,01	—	1,44	1,53
D = 8 mm; m = 4,69									
52,3	0,42	2,00	1,53	—	0,97	—	1,49	2,49	0,62
2,4	1,56	7,43	5,29	0,26	—	1,36	—	7,65	1,61
0,6	2,07	9,86	7,03	0,39	—	2,74	—	10,77	2,26
48,7	0,45	1,55	0,85	—	0,88	—	0,75	1,75	0,51
48,3	0,45	1,55	0,78	—	0,87	—	0,68	1,68	0,49
16,8	0,84	2,90	1,97	0	—	—	—	2,97	0,86
3,4	1,44	4,97	2,43	0,16	—	0,38	—	3,81	1,10
26,5	0,67	1,40	0,48	—	0,81	—	0,39	1,39	0,67
22,4	0,73	1,52	0,74	—	0,85	—	0,63	1,63	0,78
15,9	0,86	1,19	0,23	0,03	—	0,01	—	1,24	0,89
10,5	1,01	1,40	0,25	0,04	—	0,01	—	1,26	0,91
9,8	1,04	1,44	0,36	0,06	—	0,02	—	1,38	0,99
4,2	1,35	1,88	0,97	0,18	—	0,17	—	2,14	1,54
2,5	1,55	1,10	0,12	0,15	—	0,02	—	1,14	1,61
$D = 32$ mm; $m = 6{,}38$									
16,0	0,86	4,30	3,63	—	0,89	—	3,22	4,22	0,84
3,3	1,44	7,20	6,07	0,01	—	0,08	—	7,15	1,43
23,1	0,72	2,57	1,56	—	0,97	—	1,52	2,52	0,71
15,2	0,87	3,11	1,82	—	1,00	—	1,82	2,82	0,79
12,4	0,95	1,10	0,07	0,14	—	0,01	—	1,08	0,93
10,8	1,00	1,16	0,05	0,14	—	0,01	—	1,06	0,91
11,3	0,98	1,14	0,11	0,15	—	0,02	—	1,13	0,97
$D = 32$ mm; $m = 6{,}87$									
44,4	0,48	1,20	0,09	0,26	—	0,02	—	1,11	0,44
49,2	0,44	1,10	0,06	—	0,97	—	0,06	1,06	0,42
44,1	0,48	1,20	0,36	—	0,73	—	0,26	1,26	0,50
34,0	0,38	1,45	0,72	—	0,59	—	0,42	1,42	0,57
6,7	1,18	2,36	0,91	0,61	—	0,56	—	2,47	1,24
35,0	0,57	1,14	0,08	0,26	—	0,02	—	1,10	0,55
37,0	0,55	1,10	0,06	—	0,95	—	0,06	1,06	0,53
31,7	0,61	1,22	0,40	—	0,72	—	0,29	1,29	0,65
27,0	0,66	1,32	0,78	—	0,57	—	0,44	1,44	0,72
32,5	0,60	1,00	0	—	—	—	—	1,00	0,60
26,2	0,67	1,11	0,05	—	0,78	—	0,04	1,04	0,62
21,8	0,74	1,23	0,42	—	0,70	—	0,29	1,29	0,77
17,9	0,81	1,35	0,77	—	0,56	—	0,43	1,43	0,86

Valamennyi vizsgálati eredményünket felhasználva kiszámítottuk a =19) és a (20) kifejezések segítségével α értékeit, illetve az x' módosított víz/cement tényezőt. A nyomószilárdságokat x' függvényében a 17. ábrán rajzoltuk meg. A 17. ábrát az 1. és 2. ábrákkal kell összevetni. Ennek megkönnyítésére a 17. ábrán berajzoltuk az (1) és (2) kifejezések szerint szerkesztett görbét, ami x' függvényében most természetesen átlagértéket ad és nem optimális értéket, mint x függvényében (lásd 1. ábra), valamint ama határgörbéket, amelyeken belül a vizsgált adatok 95 %-a helyezkedik el. Összehasonlításul:

- az *x* víz/cement tényező függvényében ábrázolt összefüggések szerint (*Abrams, 1. ábra*) pl. 0,5 víz/cement tényezőhöz 0-43 MPa nyomószilárdság tartozik;
- a *Feret-féle* cement/vízlevegő tényező függvényében ábrázolt összefüggés szerint (*2. ábra*) pl. 1,5 értékhez 7-40 MPa nyomószilárdság tartozik;
- az *Armuth-féle* cement/vízlevegő tényező függvényében ábrázolt összefüggés szerint (*3. ábra*) 0,5 értékhez 16-35 MPa nyomószilárdság tartozik, legfeljebb 250 kg/m^3 cementtartalmú betonok esetében;
- az *Ujhelyi-féle* módosított víz/cement tényező függvényében ábrázolt összefüggés szerint (*17. ábra*) pl. 0,7 értékhez 17-31 MPa nyomószilárdság tartozik bármilyen összetételű és készítésű betonok esetében.

Az *Ujhelyi-féle* módosított víz/cement tényező figyelembe vétele tehát fokozza a betonösszetétel tervezésének, ill. a szilárdság előbecslésének a pontosságát.

4. A vizsgálati eredmények gyakorlati hasznosítása

A vizsgálatok eredményeképpen megállapított összefüggések a nyomószilárdság megbízható becslését teszik lehetővé, ha ismeretes a felhasznált adalékanyag szemmegoszlása, a cement tényleges szilárdsága, a beton összetétele és a betömörített friss beton levegőtartalma. Az előbecslés eredményeit néhány betonösszetételre a *3. táblázatban* mutatjuk be. Valamennyi beton 450-es cementtel készült.

3. táblázat: Különböző szemmegoszlású homokos kaviccsal és 450-es minőségű cementtel készített, különböző összetételű és tömörítésű betonok várható nyomószilárdsága

Jel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
D	8	16	32	8	16	32	32	8	16	32	8	16
m	4,30	5,40	6,63	4,30	4,40	6,63	6,63	4,30	5,40	6,63	4,30	5,40
M_c	399	322	244	335	233	112	233	338	261	183	520	444
M_a	1774	1940	2109	1774	1940	2109	1933	1774	1940	2109	1510	1676
M_v	199	161	122	220	190	165	170	169	132	92	260	222
V_c	129	104	79	108	75	36	75	109	83	59	168	143
V_a	672	735	799	672	735	799	755	672	735	799	572	635
x	0,5	0,5	0,5	0,66	0,82	1,47	0,73	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
V_{p_0}	328	265	201	328	265	201	201	328	265	201	328	265
V_p	328	265	201	328	265	201	245	278	215	151	428	365
V_{f_1}	0	0	0	0	0	0	0	50	50	50	0	0
V_{10}	147	119	90	172	153	142	110	147	119	90	147	119
V_1	147	119	90	172	153	142	135	175	148	118	192	164
α	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,19	1,22	1,29	1,39	1,24	1,28
x'	0,50	0,50	0,50	0,66	0,82	1,47	0,87	0,61	0,65	0,70	0,62	0,64
R	42,5	42,5	42,5	27,3	17,6	3,3	15,2	31,3	28,0	24,4	30,4	28,8
	KK	KKäFN	FN	K	K	K	K	AFN	AFN	AFN	F	F—K

Jel	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
D	32	8	16	32	8	16	32	32	32	32	32
m	6,63	4,30	5,40	6,63	4,30	5,40	6,63	7,45	7,30	7,15	7,00
M_c	366	500	500	500	680	640	590	343	325	308	289
M_a	1845	1529	1529	1529	1389	1489	1610	1894	1935	1972	2010
M_v	183	150	150	150	255	230	200	171	162	154	145
V_c	118	161	161	161	219	206	190	111	105	99	93
V_a	699	579	579	579	526	564	610	718	733	747	762
x	0,5	0,3	0,3	0,3	0,38	0,36	0,34	0,5	0,5	0,5	0,5
V_{p_0}	201	328	265	201	328	265	201	282	267	253	238
V_p	301	321	321	321	474	436	390	282	267	253	238
V_{f_1}	0	100	100	100	0	0	0	0	0	0	0
V_{10}	90	100	81	61	122	95	69	127	120	114	107
V_1	135	195	195	195	175	156	133	127	120	114	107
α	1,33	1,97	2,06	2,38	1,32	1,39	1,48	1,00	1,00	1,00	1,00
x'	0,67	0,59	0,62	0,71	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
R	26,5	33,0	30,4	23,8	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5	42,5
	K	AFN	AFN	FN	K	K	K	Ö	F	K—F	K

A táblázat egyes sorai a tanulmány 3. fejezetének bevezetőjében összefoglalt jelöléseknek megfelelőek. A számításokhoz ugyancsak a tanulmányban közölt kifejezéseket használtuk fel, azaz

- az adalékanyag V_{po} pépigényét a (3, ill. a (4) képlet,
- a beton tényleges V_p péptartalmát a (7) képlet,
- a bedolgozott friss beton V_{fl} levegőtartalmát a (11) képlet,
- a minimális V_{lo} levegőtartalmat a (16) képlet,
- a tényleges V_l levegőtartalmat a (15) képlet és
- a módosított *x'* víz/cement tényezőt a (19), ill. a (20) képlet

segítségével állapítottuk meg.

A 3. táblázat adatai alapján a beton nyomószilárdságát és bedolgozhatóságát befolyásoló tényezők számszerű hatását is meg lehet állapítani (a bedolgozhatóság, ill. a vízigény megfelelő adatai az MI-04-19 Műszaki Irányelvek szerintiek).

A 3. táblázat 1-3 oszlopa *azonos víz/cement tényezőjű* ($x = 0,5$), azonosan telített, de különböző pépigényű homokos kavicsból készített betonok adatait tartalmazza. Az adalékanyagokat úgy választottuk ki, hogy azok a gyakorlatilag legnagyobb, átlagos és legkisebb pépigényű homokos kavicsok legyenek.

Mennél kisebb az adalékanyag pépigénye, annál kevesebb cementtel lehet telített betont készíteni. A csökkenő pépigény következtében a betonkeverék víztartalma és ezzel együtt képlékenysége is csökken. Mindhárom betonkeverék várhat 28 napos nyomószilárdsága 42,5 MPa, ha a tömörítés megfelelő ($V_{fl} = 0$).

Ha *azonos konzisztenciájú* (pl. képlékeny), telített betonkeverékek készülnek az előző szemmegoszlású, különböző pépigényű homokos kavicsokból (4-6 oszlop), akkor a legnagyobb pépigényű adalékanyaggal lehet a legkisebb víz/cement tényezőjű, és így a legnagyobb nyomószilárdságú betonkeveréket elkészíteni. Az igen kis pépigényű 6 jelű beton nyomószilárdsága telített állapotban, képlékeny konzisztenciával minimális. Ha ezt a betont – változatlanul képlékeny konzisztenciával – az 5 jelű betonnal azonos cementtartalommal, tehát túltelítetten készítjük el, akkor nyomószilárdsága az 5 jelűnél mintegy 15 %-kal kisebb lesz (7 jelű keverék). Mindebből az következik, hogy kisebb nyomószilárdságú képlékeny betonhoz nem érdemes kis pépigényű homokos kavicsot alkalmazni, ha cementtakarékos betont kívánunk készíteni.

Ha *telítetlen* betonkeverékeket készítünk (pl. 50 liter/m^3 péphiánnyal) azonos víz/cement tényezővel, akkor a várható nyomószilárdságokról a 8-10 jelű oszlop adatai tájékoztatnak. Ezeket az 1-3 oszlop adataival érdemes összehasonlítani. A betonkeverékek mindegyike nagyon száraz, emiatt tömöríteni csak speciális eszközökkel (pl. vibropréseléssel) lehet. Az azonosan 50 liter/m^3 péphiány legnagyobb szilárdságcsökkenést a legkisebb pépigényű adalékanyagnál okoz. Ez magától értetődő, mert a viszonylagos péphiány rendre 15,3; 18,9 és 24,9 %.

Ha azonosan *túltelített* keverékeket (pl 100 liter/m^3 péptöbblet), változatlan víz/cement tényezővel állítunk elő, akkor a szilárdság csökkenését a 11-13 jelű adatok mutatják. Változatlanul a legkisebb pépigényű adalékanyagnál észlelhető a legkisebb nyomószilárdság.

A *tömörítés hiányosságának* következményét a 14-16 jelű keverékek adatai alapján lehet mérlegelni. Valamennyi keverék azonos összetételű ($m_c = 500$ kg/m^3, $m_a = 1529$ kg/m^3, $m_v = 150$ liter/m^3 és $x = 0,3$), továbbá a betömörített friss beton levegőtartalma azonosan 10 térfogat% (ilyen betonkeverékek pl. 50 Hz frekvenciájú laboratóriumi asztalvibrátorral tömörítve adják a táblázat szerinti tömörséget).

Ha a telített betonkeverékek konzisztenciája nem elegendő a beton levegőmentes bedolgozásához (mint pl. kevéssé képlékeny vagy földnedves, mint az 1-3 jelű betonoknál), akkor a telített betonnak megfelelő nyomószilárdságot *képlékenyebb* betonból (pl. az 1-3 jelű betonoknál $x = 0,5$ mellett elérhető 42,5 MPa-t) csak víz/cement csökkentéssel, és ennek megfelelő cementtartalom növeléssel lehet biztosítani (17-19 jelű betonok). Az így megtervezett betonok azonban nem mindig felelnek meg az MSZ 4719 szabvány cementtartalomra vonatkozó előírásának (legfeljebb 500 kg/m^3), ahogy nem

felelnek meg a 3. táblázat 17-19 jelű betonjai sem. E betonok tehát – az adott adalékanyag szemmegoszlások mellett – csak elméleti jelentőségűek, a gyakorlatban alkalmazhatatlanok.

A kisebb cementtartalommal is képlékenyebb, könnyen tömöríthető betonokat csak *kisebb vízigényű* adalékanyagokkal lehet elkészíteni. Ezeknek adatait a 20.-23. oszlop tartalmazza. A 20. oszlopban *D = 32 mm*, az I. szemmegoszlás alsó határgörbéjének megfelelő, homokszegény adalékanyaggal készített, telített beton összetétele és várható nyomószilárdsága található, amely *x = 0,5* víz/cement tényezővel önthető konzisztenciájú. Fokozatosan növekvő homoktartalommal az *x = 0,5* víz/cement tényezőjű, telített betonkeverék konzisztenciája fokozatosan szárazabbá válik (21. és 22. oszlop) és az *m = 7,0* finomsági modulusú adalékanyaggal lehet elérni a megkívánt konzisztenciát és nyomószilárdságot.

A közölt példákból levonható az az általános következtetés, hogy adott nyomószilárdságú beton készítéséhez az adalékanyag szemmegoszlását, a beton cementpép-tartalmát és víz/cement tényezőjét a tömörítés lehetőségeivel (a beton konzisztenciájával) úgy kell összehangolni, hogy annak levegőtartalma bedolgozott friss állapotában, valamint megszilárdult állapotában előre megtervezett értéket érjen el. A betonösszetételben, vagy a tömörítésben bekövetkező bármely változás a nyomószilárdság megváltozását vonja maga után.

Ehhez a célszerű betonkészítéshez mindenekelőtt jól definiált szemmegoszlású – azaz meghatározott pépigényű és vízigényű – adalékanyagra van szükség.

5. Következtetések a betonok anyagtakarékos készítésére

A betonszerkezetek alapanyagaihoz és készítéséhez felhasznált energia (olaj-egyenértékben kifejezve) a következő:

- a cement előállításához kb. 130 liter/tonna,
- az acélbetét előállításához kb. 700 liter/tonna,
- az adalékanyag előállításához 1-4 liter/m^3,
- az alapanyagok szállításához 2-4 liter/tonna,
- a beton keveréséhez és tömörítéséhez 2-3 liter/m^3,
- a betonkeverék szállításához 2-4 liter/m^3,
- a beton hőérleléséhez 15-40 liter/m^3.

A fenti adatok figyelembe vételével közepes nyomószilárdságú betonszerkezet készítéséhez 40-45 liter/m^3, vasbeton szerkezet készítéséhez pedig 50-55 liter/m^3 olaj szükséges (gőzölés nélkül). Ha a cementtartalom 100 kg/m^3-rel megváltozik, akkor kb. 13 liter/m^3-rel változik meg az olajfelhasználás. Bármilyen élességgel is osztályozzunk adalékanyagot, az olajszükséglet csak 1-2 liter/m^3-rel változik meg.

Az ismertetett összefüggések rávilágítanak erre, hogy az adalékanyag szemmegoszlásának célszerű kiválasztása milyen mértékű cementmegtakarítást tesz lehetővé. Például a 3. táblázat 23 jelű betonkeveréke kereken 290 kg/m^3, a 19 jelű betonkeveréke 590 kg/m^3 cementtartalmú, mindkét beton képlékeny konzisztenciájú és azonosan 42,5 MPa nyomószilárdságú. A cementtartalom-különbség 300 kg/m^3, ez kb. 40 liter/m^3 olajfelhasználás-különbséget okoz.

A fenti hőenergia-megtakarítás kizárólag az adalékanyag célszerű megválasztásának köszönhető: a homokos kavics szemmegoszlása olyan, ami az adott feltételekhez (bedolgozhatóság, előírt nyomószilárdság, legnagyobb szemnagyság) optimális. Az ilyen adalékanyag alkalmazása a cementmegtakarításon túlmenő műszaki és gazdasági előnyöket is jelent: a beton számos tulajdonsága (pl. zsugorodás, kúszás, fagyállóság stb.) javul, ha a beton cementtartalma a telített beton készítésének megfelelő, továbbá a betonkészítés megbízhatósága fokozódik, ha az adalékanyag szemmegoszlása állandó, ami a beton küszöbszilárdságának növekedését (vagy a szükséges átlagos nyomószilárdság csökkenését) vonja maga után.

Ha az adalékanyag ellátás színvonalát olyan szintre emelnénk, ami lehetővé tenné valamennyi betonkészítő munkahely részére az állandó szemmegoszlású, célszerűen kiválasztott homokos

kavics felhasználását, akkor a hazai cementipar termelése kielégítené az igényeket, és nem lenne szükség importra.

6. Összefoglalás

Az előírt nyomószilárdságú beton összetételének megtervezése, ill. az ismert összetételű és készítésű beton nyomószilárdságának előre becslése mintegy 60 éve az *Abrams-féle* víz/cement tényezőn alapszik. Ehhez részben a friss beton levegőtartalmát (*Feret*), részben a cement : adalékanyag arányt (*Murdock*) kiegészítésként figyelembe veszik.

Az ÉTI Betontechnológiai osztályán végzett vizsgálatok kimutatták, hogy a víz/cement tényező mellett a beton cementpép-tartalma és tömörítésének a mértéke az a két tényező, amely a nyomószilárdság alakulását meghatározza. Mind a három fent említett tényező – víz/cement tényező, péptartalom, tömörítés – a megszilárdult beton levegőtartalmában összegeződik.

A több éven át tartó vizsgálatok eredményeinek feldolgozása a következő eredményekre vezetett:

- a beton nyomószilárdságát a víz/cement tényező függvényében ábrázolva felülről korlátos halmazt kapunk (1. ábra), ha a beton készítésének valamennyi paramétere változhat (cement-, víz- és adalékanyag-tartalom, konzisztencia, szemmegoszlás, tömörítés),
- azt, hogy adott készítési feltételek mellett a víz/cement tényező függvényében ábrázolt nyomószilárdság az abszcissza és a felső burkológörbe között hol helyezkedik el, elsősorban a viszonylagos cementpép-tartalom és a tömörítés mértéke határozza meg,
- a cementpép szükséges mennyisége a felhasznált adalékanyag szemmegoszlásától függ: az adalékanyag cementpép-igénye legnagyobb szemnagyságának és finomsági modulusának a függvényében fejezhető ki {10. ábra, továbbá (3) és (4) képletek},
- adott betonösszetétel mellett a tömörítés mértékét a megszilárdult beton levegőtartalma jellemzi; minden betonösszetételhez meghatározható a kifogástalan tömörítés mellett várható legkisebb levegőtartalom {6. ábra és [16] képlet},
- a cementpép tartalom eltérése az adott szemmegoszlású adalékanyag cementpép-igényétől, valamint a beton tényleges levegőtartalmának eltérése a várható minimális levegőtartalomtól az a két tényező, amely a víz/cement tényező módosítására felhasználható,
- az *Ujhelyi-féle* módosított víz/cement tényező a fenti tényezőket veszi figyelembe és segítségével a szilárdság előbecslés, ill. a beton összetételének tervezése pontosítható.

A beton cementpép-. És levegőtartalma nemcsak a beton nyomószilárdságát szabályozza, hanem az egyéb mechanikai és fizikai tulajdonságokat is (pl. kúszás, zsugorodás, fagyállóság, ellenállás agresszív hatásokkal szemben stb.), de ennek tárgyalása túlmegy e tanulmány keretein.

Az ismertetett összefüggések felhasználásával megbízhatóan becsülni lehet a betonkészítés energiafelhasználását is, beleértve az alapanyagok előállítására fordított hőenergia figyelembe vételét is. E becslések azt igazolják, hogy csak a célszerűen kiválasztott, állandó szemmegoszlású adalékanyag felhasználásával lehet a megtakarítási lehetőségeket realizálni. Ez az adalékanyag előállítás és ellátás további, haladéktalan és fokozott ütemű fejlesztését követeli meg.

Végezetül kötelességem köszönetet mondani egyrészt az Építésügyi és Városfejlesztési Minisztérium Műszaki Fejlesztési Főosztályának azért, hogy felismerve a téma fontosságát, biztosította a kutatás költségeit, másrészt az ÉTI Betontechnológiai osztály munkatársainak, akiknek lelkiismeretes munkája nélkül a kísérletek nem vezethettek volna eredményre.

IRODALOM

[1] *Abrams, D. A.:* Design of concrete mixtures. Minutes of the annual Meeting of P. C. A. 1918.

[2] *Zielinszky, Sz.:* A román és a portlandcementek szilárdulása pépben, habarcsban és betonban. 1909.

[3] *Feret, R.:* Sur la compacité des mortiers hydrauliques. Paris, 1892.

[4] *Palotás, L.:* Vergleich der verschiedenen Formeln zur Vorausbestimmung der Würfelfestigkeit von beton. 1935. Zement. II. 36—37.

[5] *Murdock, L. J.:* Concrete materials and practice. 3rd Ed. London, Edward Arnold Publishers Ltd. 1960.

[6] *Kausay, T.:* Betonadalékanyagok szemszerkezeti tulajdonságai és a szemszerkezet komplex jellemzésmódja. Kandidátusi disszertáció, Bp. 1977.

[7] *Arnuth, A.:* Kis cementadagolású betonok. ÉTI Kutatási Jelentés. Bp. 1971.

[8] *Újhelyi, J.:* Új cementek betontechnológiai vizsgálata. ÉTI Kutatási Jelentés, Bp. 1973.

[9] *Újhelyi, J.:* A receptbetonok összetételének meghatározása. ÉTI Kutatási Jelentés. Bp. 1979.

[10] *Újhelyi, J.:* A pórusok hatása a betonok nyomószilárdságára. ÉTI Kutatási Jelentés. Bp. 1979.

[11] *Joisel, A.:* Composition des bétons hydrauliques. Annales de l'I. T. B. T. P. Paris, 1952. 10.

[12] *Powers, T. C.–Brownyard, T. L.:* Studies of the physical properties of hardened portland cement paste. ACI Journal Detroit, 1946. oct.—dec., 1947. jan.–apr.

[13] *Újhelyi, J.:* Forgalomban levő cementek betontechnológiai vizsgálata. ÉTI Kutatási Jelentés, Bp. 1979.

Építőanyag, 1984. 9. szám pp. 268-273.

A duzzasztott agyagkavics-betonok nyomószilárdsága

UJHELYI JÁNOS – TOMA MURAD

Bevezetés

A felhasználó számára a könnyűbeton nyomószilárdságának önmagában nincs jelentősége, csak a testsűrűséggel együtt. Ez logikusan következik a könnyűbetonokkal szemben támasztott egyidejű szilárdsági és testsűrűségi követelményekből is. Ez viszont azt jelenti, hogy mindazon tényezők hatását és kölcsönhatását figyelemmel kell kísérni, amelyek ezt a két tulajdonságot befolyásolják. A cél a mennél könnyebb és mennél szilárdabb beton készítése és ez a két feltétel általában egymásnak ellentmond.

A szakirodalmi adatok szerint a könnyűbetonok nyomószilárdságának az előbecslésére, ill. a beton összetételének a tervezésére kialakult módszereket az alábbiak szerint lehet csoportosítani:

Az első csoportba tartoznak a kavicsbetonnál ismert eljárások: a víz/cement tényező és a nyomószilárdság valamely összefüggése, csak éppen a víz/cement tényezőt az ún. aktív vízmennyiségből számítják (aktív vízmennyiség = a keverési víz és a könnyű adalékanyag által fél óra alatt elszívott víz mennyiségének a különbsége). Erre jellemző pl. KRUML [1] alábbi összefüggése:

$$R = k_1 \times k_2 \times \left(\frac{m_c}{m_v} - k_2\right) \qquad (1)$$

ahol R = a beton 28 napos nyomószilárdsága, N/mm^2,
m_c = a beton cementtartalma, kg/m^3,
m_v = a beton aktív víztartalma, kg/m^3,
k_1 és k_2 = kísérleti állandók.

A második csoportba tartozó eljárások a víz/cement tényező mellett a könnyű adalékanyag jellemzőit (testsűrűség s szilárdság) módosító paraméterként veszik számításba. Erre jellemző pl. STORK [2] alábbi összefüggése:

$$R = [400\times\left(\frac{m_v}{m_c}\right)^2 - 1300\times\left(\frac{m_v}{m_c}\right) + 900]\times(\gamma_a\times10^{-4} - \gamma_a^2\times3{,}5\times10^{-7} - 0{,}16) + 0{,}3\times\gamma_a - \gamma_a^2\times10^{-4} - 60 \qquad (2)$$

ahol R, m_c és m_v = mint az (1) képletben,
γ_a = az adalékanyag testsűrűsége, kg/m^3

A harmadik csoportba tartozó eljárások a beton pórustartalmának az ismeretében a víz-levegő-cement tényezőből indulnak ki. Erre példa SHIRAYAMA [3] alábbi összefüggése:

$$R = R_c \times \left(25 \times \frac{V_{ck}}{V_{ck} + V_1 + k_1 \times V_2 + k_2 \times V_3} - 0{,}5\right) \qquad (3)$$

ahol R = mint az (1) képletben,
R_c = a cement szabványszilárdsága, N/mm^2,
V_{ck} = a cement tömör térfogata, dm^3/m^3,
V_1 , V_2 és V_3 = a cementkő, a finom adalékanyag és a durva adalékanyag levegőtartalma, dm^3/m^3,
k_1 és k_2 =kísérleti állandók.

Mindezek a módszerek lényegében a kavicsbetonnál ismert eljárásokat dolgozták át a könnyű adalékanyagos betonokra. Mintegy két évtizede UJHELYI [4] és tőle függetlenül

BACHE [5] alakított ki új elveket negyedik csoportba sorolható eljárásként azzal, hogy a könnyűbetont kétfázisú rendszernek tekintve különválasztotta a teherhordó habarcsváz jellemzőit az inert adalékanyagváz jellemzőitől:

UJHELYI [4]:
$$R = \frac{R_{ch} \times V_{ch} + R_a \times V_a}{V_{ch} + V_a} \times \left(\frac{1}{V_1}\right)^n \qquad (4)$$

BACHE [5]:
$$R = R_{ch} \times \left(\frac{R_a}{R_{ch}}\right)^{V_a} \qquad (5)$$

ahol R = mint az (1) képletben,
R_{ch} = a cementhabarcs nyomószilárdsága, N/mm^2,
R_a = a könnyű adalékanyag szemcseszilárdsága, N/mm^2,
V_{ch} és V_a = a cementhabarcs és az adalékanyag térfogata, dm^3/m^3,
V_l = 1 m^3 megszilárdult és kiszárított beton levegőtartalma, m^3,
n = a könnyű adalékanyag fajtájától függő állandó.

Ha adott adalékanyagból, adott összetétellel készített könnyűbetonok nyomószilárdságát a különböző előbecslő módszerekkel kiszámítjuk, akkor a ténylegesen mért értékektől a számítási eredmények többé-kevésbé eltérnek. Ezt tapasztaltuk az 1982-83 évben duzzasztott agyagkaviccsal végzett vizsgálataink során.

Vizsgálatok és az eredmények értékelése

Az Építéstudományi Intézetben 1982-83 évben duzzasztott agyagkaviccsal számos vizsgálatot végeztünk [6]. Adalékanyagként csehszlovákiai keramzitot (Karlovy Vary) és osztrák Leca-agyagkavicsot (Wien) használtunk. A részletes kísérletek eredményeiből e helyen csak a nyomószilárdság vizsgálatának néhány adatát (1. és 2. táblázat), valamint az eredményekből levont következtetéseket ismertetjük.

1. táblázat: Keramzit betonok összetétele és nyomószilárdsága

Jel	γ_k	m_c	m_w	m_h	m_a	w_a %	(V_{ws}) m_{ws} kg/m³	V_c	V_h	V_a	R N/mm²
	kg/m³							dm³/m³			
AI/1	1408	480	192	352	384	9,4	156	155	133	557	17,7
2	1147	488	164	105	390	10	125	157	40	565	9,8
3	1601	471	216	631	283	8,1	193	152	239	410	20,8
4	1788	472	208	819	189	7,9	193	152	348	274	24,8
AII/1	1370	288	191	508	383	10,2	152	93	192	555	15,2
2	1240	333	174	289	444	10,6	127	107	110	644	10,9
3	1576	284	189	819	284	9,2	163	92	310	412	16,2
4	1754	280	198	1090	186	8,6	182	90	413	270	15
AIII/1	1399	467	214	344	374	9,4	179	151	130	572	17,9
2	1182	490	196	105	391	10	157	158	40	567	8,2
3	1768	460	227	897	184	8,2	212	148	340	267	27,1
AIV/1	1375	289	189	511	386	10,4	149	93	194	559	13,2
2	1220	324	183	281	432	10,7	137	105	106	626	8,5
3	1718	270	213	1035	180	8,9	197	87	400	261	14,6
AV/1	1416	488	180	358	390	9,2	144	157	136	565	20,4
2	1254	535	181	110	428	9,8	139	173	42	620	12,1
3	1802	481	192	937	192	8,3	176	155	355	278	29,8
AVI/1	1393	301	159	532	401	10	119	97	202	282	17,6
2	1131	305	154	265	407	10,8	110	98	100	590	7,7
3	1832	300	163	1169	200	8	147	97	443	290	21
AVII/1	964	123	97	300	444	12,4	42	40	114	644	3,5
2	1136	169	125	421	421	11,4	77	55	160	610	8,1
3	1356	226	152	559	419	10,3	109	73	212	607	13,5
4	1472	278	173	692	329	9,7	141	90	262	477	16,2
5	1576	326	177	802	271	8,6	153	105	304	393	19,4
6	1739	381	175	950	233	8,2	156	123	360	338	30,1

2. táblázat: Leca-anyagú betonok összetétele és nyomószilárdsága

Jel	γ_k kg/m³	m_c kg/m³	m_w kg/m³	m_h kg/m³	m_k kg/m³	w_k %	(V_{wa}) m_{wa} kg/m³	V_c dm³/m³	V_h dm³/m³	V_a dm³/m³	R N/mm²
BI/1	1363	478	191	277	467	11,8	136	154	86	623	16,5
2	1304	509	192	106	497	12,1	132	164	40	663	14,4
3	1589	486	197	549	357	10.4	160	157	208	476	27,3
4	1825	493	208	883	241	9,5	185	159	334	321	30.4
BII/1	1350	297	168	402	483	12,4	108	96	152	644	13,2
2	1291	320	157	292	522	12,6	90	103	111	695	12,2
3	1527	291	175	705	356	11,2	135	94	267	475	18,1
4	1774	298	183	1050	243	10,3	158	96	398	324	21,5
BIII/1	1353	466	211	221	455	11,9	157	150	84	607	19
2	1293	491	219	102	481	12,1	161	158	39	641	15
3	1783	474	228	849	232	9,9	205	153	322	309	26,8
BIV/1	1329	285	194	386	464	12,7	135	92	146	619	10,2
2	1251	299	191	273	488	13,1	127	96	103	651	8
3	1794	296	214	1043	241	10,4	189	95	395	321	17,6
BV/1	1472	526	182	250	514	11,3	124	170	95	685	17
2	1319	521	180	109	509	12	119	168	41	679	14,2
3	1793	490	185	878	240	9,6	162	158	333	320	29,8
BVI/1	1389	305	174	413	497	10,3	123	98	156	663	15
2	1186	291	154	266	475	13,1	92	94	101	633	8,7
3	1759	299	162	1054	244	10,3	137	96	399	325	19,7
BVII/1	1003	113	110	277	503	14,9	35	37	105	671	3,8
2	1151	157	119	395	480	14	52	51	150	640	4,4
3	1368	213	145	527	482	12,7	84	69	200	643	11,1
4	1482	267	159	665	301	11,8	113	86	252	521	14,2
5	1600	319	163	793	325	10,8	128	103	301	433	18,4
6	1714	362	180	902	270	10,4	152	117	342	360	22,2

A betonok készítéséhez 450 váci pc-t, 0-2 mm-es élesen osztályozott folyami homokos kavicsot használtunk. A keramzit 8-16 mm-es szabálytalan hengeralakú szemcsékből állt, halmazsűrűsége 395 kg/m³, szemcse-testsűrűsége 690 kg/m³ és Hummel-féle szétmorzsolódási tényezője 1,95 volt. A Leca-agyagkavics 4-8 mm és 8-16 mm, gömbölyded szemcsékből állt, halmazsűrűsége 495 kg/m³, szemcse-testsűrűsége 750 kg/m³ és Hummel-féle szétmorzsolódási tényezője 1,49 volt.

A könnyűbetont kétfázisú rendszerként kezelő, korszerű előbecslő képletek két problémát vetnek fel. Az egyik az, hogy még nem sikerült korrekt vizsgálati módszert kidolgozni a könnyű adalékanyagokhoz kevert cementhabarcs (cement + víz + 0-1 mm-es finomhomok) szilárdságának a szabatos meghatározására. Ennek alapvetően két okát látjuk:

- a kis testsűrűségű adalékanyag a beton bedolgozásakor csökkenti a habarcsváz tömöríthetőségét, döngöléskor rugalmassága, vibráláskor kis tömege miatt,
- a könnyű adalékanyag szemcséi a cementhabarcsból a keverés kezdetétől vizet szívhatnak el, de ennek lefolyását és hatását egyelőre nem sikerült modellezni (pl. vákuumozással).

A másik probléma az, hogy a habarcs-szilárdságot az aktív víz figyelembevételével kell számítani, mégpedig általában az alábbi módon:

$$m_{vo} = m_v - m_a \times v_{a,0,5} \qquad (6)$$

ahol m_{va} = az aktív víz mennyisége, kg/m³,

m_v = a könnyűbeton teljes víztartalma, kg/m³,

$v_{a,0,5}$ = a könnyű adalékanyag által 0,5 óra alatt elszívott vízmennyiség, az adalékanyag tömegarányában kifejezve.

Vizsgálatainak azt bizonyították, hogy sem a fél órás, sem más időponthoz tartozó vízelszívás figyelembe vétele nem szabatos. Ez nem is lehet másképpen, ha meggondoljuk, hogy mind a cement, mind a finomhomok szemcséi a víz felületi feszültségétől függő mértékben képesek a vizet adszorpciós erőkkel a felületükön megkötni, következésképpen nem lehet közömbös az elszívott víz mennyiségét tekintve az adalékanyag és a cement+finomhomok aránya.

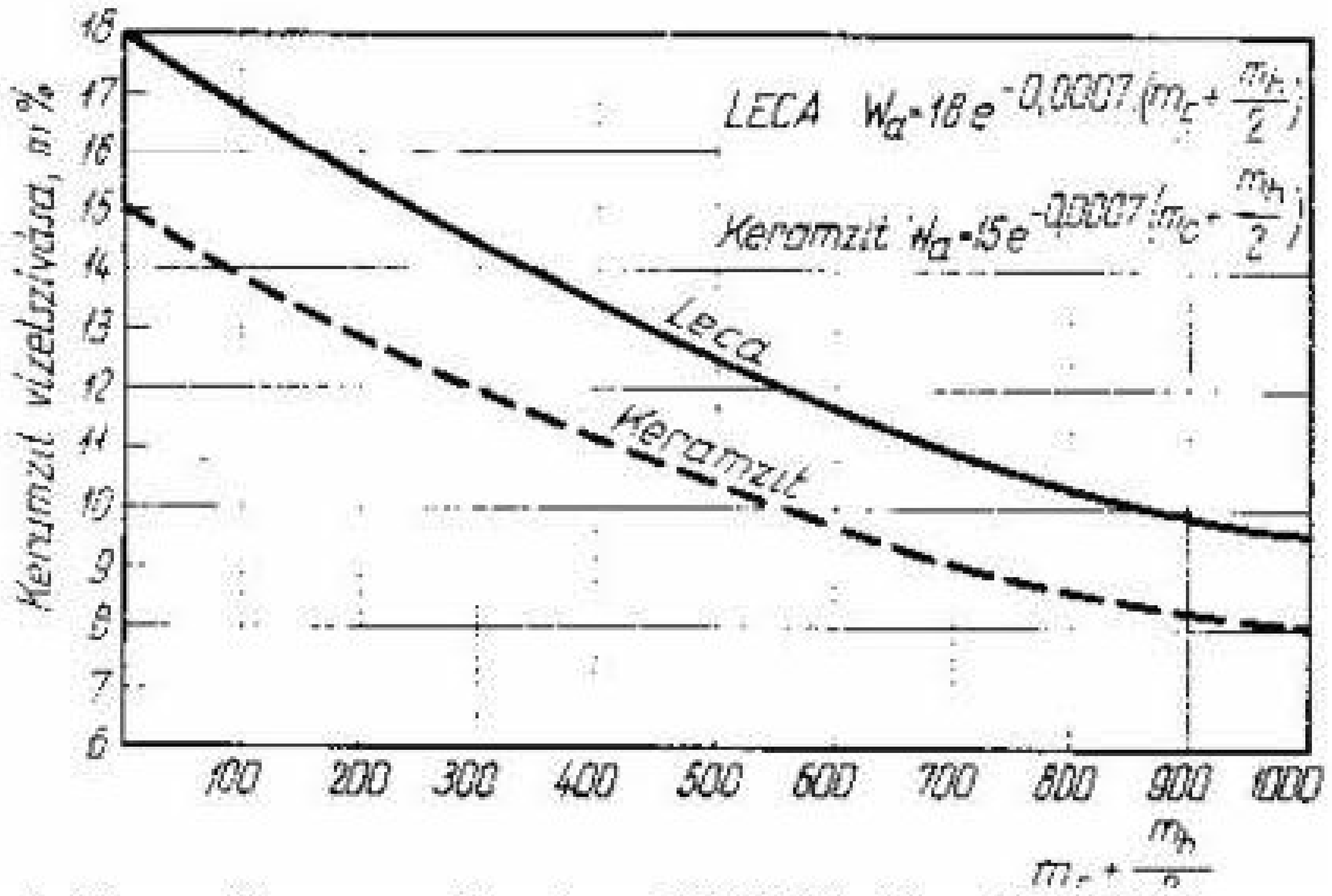
Vizsgálataink eredményeképpen megállapíthattuk, hogy az agyagkavics vízelszívása a KK-F konzisztencia tartományban a beton cementtartalmától függ, ahogyan ezt az 1. ábra mutatja. A vízelszívás mértéke az alábbi összefüggéssel fejezhető ki:

keramzit esetén:

$$v_a = 18 \times e^{-0,7 \times m_c + \frac{m_h}{2}} \qquad (7)$$

Leca-anyag esetén:

$$v_a = 15 \times e^{-0,7 \times m_c + \frac{m_h}{2}} \qquad (8)$$



1. ábra: Az agyagkavics vízfelvételének mértéke a cement:homok arány függvényében

ahol m_c = a beton cementtartalma, kg/m³,

m_h = a beton 0-1 mm-es kvarchomok tartalma, kg/m³,

v_a = az adalékanyag által elszívott víz az adalékanyag tömeg %-ában kifejezve,

18, ill. *15* = a keramzit, ill. a Leca-anyag 0,5 órás vízfelvétele, %.

Az agyagkavics betonban lévő habarcsváz nyomószilárdságát közvetlen módon nem tudtuk megvizsgálni, ezért előbecslésére UJHELYI [7] által a kavicsbetonokra kidolgozott módosított víz/cement tényezőt alkalmaztuk. UJHELYI az adalékanyag pépigényének, a péptartalomnak és a megszilárdult beton pórustartalmának az ismeretében határozta meg ama szorzótényezőt, amellyel a tényleges *x* víz/cement tényező $x' = \alpha \times x$ alakban módosítható. Túltelített betonokra:

$$\alpha = 1 + \frac{V_p^{'} - V_{po}}{V_p^{'}} + \frac{V_{lb}}{V_{lw}} \qquad (9)$$

ahol V_{po} = az adalékanyag pépigénye, dm³/m³,

V_p' = a kifogástalanul tömörített beton cementpép tartalma, dm³/m³,

V_{lb} = a beton pórustartalma az esetleges hiányos tömörítés következtében, dm³/m³,

V_{lv} = a beton pórustartalma a vízelpárolgás következtében, dm³/m³.

A beton 28 napos nyomószilárdsága, N/mm²:

$$R = A \times e^{-x' \times B} \qquad (10)$$

ahol *A* = a cement szabványos kötőerejétől függő állandó,

B = a cement vízérzékenységétől függő állandó.

A cementhabarcsra a (9) szerinti szorzótényezőt a következőképpen határoztuk meg. Kiszámítottuk a betonkeverékre a cement (V_c) és a homok (V_h) tömör térfogatát (ρ_c = *3,1 g/cm³* és ρ_h = *2,64 g/cm³*), az agyagkavics V_a szemcsetérfogatát (γ_a értéke keramzitra *690 kg/m³*, Leca-agyagkavicsra *750 kg/m³*) és az aktív víz V_{va} térfogatát a (7), ill. (8) kifejezés, valamint a beton összes m_v víztartalma (kg/m³) és m_a agyagkavics tartalma alapján:

$$V_{va} = m_v - m_a \times \frac{v_a}{100} \qquad (11)$$

Ezekből az adatokból határoztuk meg 1 m^3 cementhabarcs összetevőit, mégpedig:

$$V_c^{ch} = \frac{1000}{1000 - V_a} \times V_c \qquad dm^3/m^3$$

$$V_h^{ch} = \frac{1000}{1000 - V_a} \times V_h \qquad dm^3/m^3$$

$$V_{va}^{ch} = \frac{1000}{1000 - V_a} \times V_{va} \qquad dm^3/m^3$$

Keramzit betonok számított értékei **3. táblázat**

jel	x	V_{ch} dm³/m³	$\frac{R}{V_{ch}}$ N/mm²	V_{lb}^{ch} dm³/m³	V_{p}^{ch} dm³/m³	$V_{p}^{ch'}$ dm³/m³	V_{lw}^{ch} dm³/m³	α	x'	R_{sz}^{ch} N/mm²	R_{sz} N/mm²
AI/1	0,326	444	39,9			703		1,545	0,514	42,7	18,9
2	0,255	322	30,4	260	648	876	145	3,428	0,874	27,5	8,9
3	0,41	584	35,6	10	585	591	215	1,505	0,617	37,7	22
4	0,408	693	35,8	45	475	498	174	1,616	0,659	35,8	24,8
AII/1	0,529	437	34,8	18	551	561	244	1,503	0,795	30,3	13,3
2	0,383	344	31,7	34	657	680	229	1,678	0,643	36,5	12,6
3	0,574	565	28,7	39	434	451	201	1,484	0,852	28,3	16
4	0,651	685	21,9	62	373	397	187	1,526	0,993	23,8	16,3
AIII/1	0,383	460	38,9			717		1,554	0,595	38,7	17,8
2	0,319	355	23,1	180	727	887	212	2,488	0,795	30,4	10,8
3	0,461	700	38,7	45	491	514	198	1,605	0,74	32,4	22,7
AIV/1	0,515	436	30,3	11	549	555	238	1,47	0,757	31,8	13,8
2	0,423	348	24,4	70	647	695	243	1,828	0,773	31,1	10,9
3	0,430	684	21,4	74	384	415	220	1,565	1,143	19,8	13,5
AV/1	0,295	437	46,7			689		1,536	0,453	46	20,1
2	0,26	354	34,2	68	821	881	189	1,997	0,519	42,5	15
3	0,366	685	43,3	50	459	482	153	1,663	0,609	38,1	26,2
AVI/1	0,395	418	42,1			517		1,38	0,545	41,2	17,2
2	0,361	308	25	135	584	675	192	2,229	0,805	29	8,9
3	0,49	687	30,6	32	344	355	144	1,321	0,647	36,3	24,9
AVII/1	0,342	196	17,8	246	315	418	98	3,745	1,281	16,8	3,3
2	0,456	292	27,7	118	399	452	159	2,034	0,928	25,8	7,5
3	0,482	394	34,3			462		1,307	0,63	37,1	14,6
4	0,507	193	32,9	57	442	469	190	1,618	0,811	30,7	15,1
5	0,469	562	34,5	74	425	459	173	1,731	0,812	29,7	16,8
6	0,41	639	47,1	35	422	437	155	1,494	0,612	37,9	24,2

Leca anyagú betonok számított értékei **4. táblázat**

Jel	x	V_{ch} dm³/m³	$\frac{R}{V_{ch}}$ N/mm²	V_{lb}^{ch} dm³/m³	V_{p}^{ch} dm³/m³	$V_{p}^{ch'}$ dm³/m³	V_{w}^{ch} dm³/m³	α	x'	R_{sz}^{ch} N/mm²	R_{sz} N/mm²
BI/1	0,285	376	43,9			771		1,585	0,452	47,9	18
2	0,26	336	42,9			881		1,637	0,426	49,7	16,7
3	0,329	525	52			604		1,47	0,483	45,7	24
4	0,374	678	44,8			507		1,37	0,512	44	29,8
BII/1	0,362	356	37,1			573		1,442	0,552	43,3	15,4
2	0,282	304	40,1			635		1,496	0,422	50	15,2
3	0,463	496	36,5	55	436	462	175	1,622	0,751	31,4	15,6
4	0,531	652	33	36	376	390	167	1,49	0,791	29,8	19,4
BIII/1	0,337	391	48,6			785		1,592	0,537	42,5	16,6
2	0,327	358	41,9			891		1,641	0,537	42,5	15,2
3	0,433	680	39,4	16	518	526	199	1,614	0,699	33,8	23
BIV/1	0,474	373	27,3	21	596	609	244	1,658	0,786	29,2	10,9
2	0,425	326	24,5	66	639	684	242	1,805	0,767	30,7	10
3	0,64	679	25,9			418		1,235	0,79	29,8	20,2
BV/1	0,237	389	43,7			756		1,576	0,374	53,3	20,7
2	0,229	328	43,3			875		1,634	0,374	53,3	17,5
3	0,33	653	45,6	40	471	490	142	1,629	0,537	42,2	27,7
BVI/1	0,403	377	39,8			586		1,454	0,586	39,5	14,9
2	0,316	287	32,6	256	596	648	172	2,995	0,946	23,9	6,9
3	0,459	632	31,2	64	345	369	139	1,593	0,731	32,3	20,4
BVII/1	0,31	177	21,5	257	303	408	86	4,204	1,303	14,5	3,5
2	0,331	253	18,1	264	299	407	90	4,147	1,373	13,2	4,5
3	0,393	353	31,4	11	429	433	152	1,333	0,524	43,3	15,3
4	0,424	451	31,5	58	415	441	157	1,644	0,697	33,9	15,3
5	0,4	532	34,6	62	407	434	146	1,687	0,674	35	18,6
6	0,421	611	36,3	45	420	440	158	1,558	0,656	35,8	21,9

A cementhabarcs hiányos tömörítés okozta levegőtartalma:

$$V_{lb}^{ch} = 1000 - \left(V_c^{ch} + V_h^{ch} + V_{va}^{ch}\right)$$

A felhasznált homok pépigénye V_{po}^{hc} = 320 dm^3/m^3, az elpárologtatható víz helyén visszamaradó pórustartalom a (7) szerint:

$$V_{lv}^{ch} = V_{va}^{ch} - m_c^{ch} \times (1+x) \times 0{,}1$$

A kapott eredményekből számíthattuk az α (9) szerinti értékét és az x' módosított víz/cement tényezőt. Valamennyi adatot a 3. és a 4. táblázatban foglaltuk össze. Az eredmények értékelésekor azt találtuk, hogy az agyagkavics-váz nem befolyásolta a beton nyomószilárdságát, hanem az kizárólag a cementhabarcsváz szilárdságától és V_{ch} térfogat arányától függött. Az R betonszilárdság és a V_{ch} (m^3) cementhabarcs térfogat viszonyát a 3. és a 4. táblázatban megadtuk (R:V_{ch}).

Végül összefüggést kerestünk a cementhabarcs R^{ch} (mért) szilárdsága és az x' módosított víz/cement között. A legjobb korrelációt az alábbi kifejezések szolgáltatták:

keramzit betonra: $R^{ch} = 80 \times e^{-1{,}22 \cdot x'}$ (12)

Leca-anyagú betonra: $R^{ch} = 90 \times e^{-1{,}4 \cdot x'}$ (13)

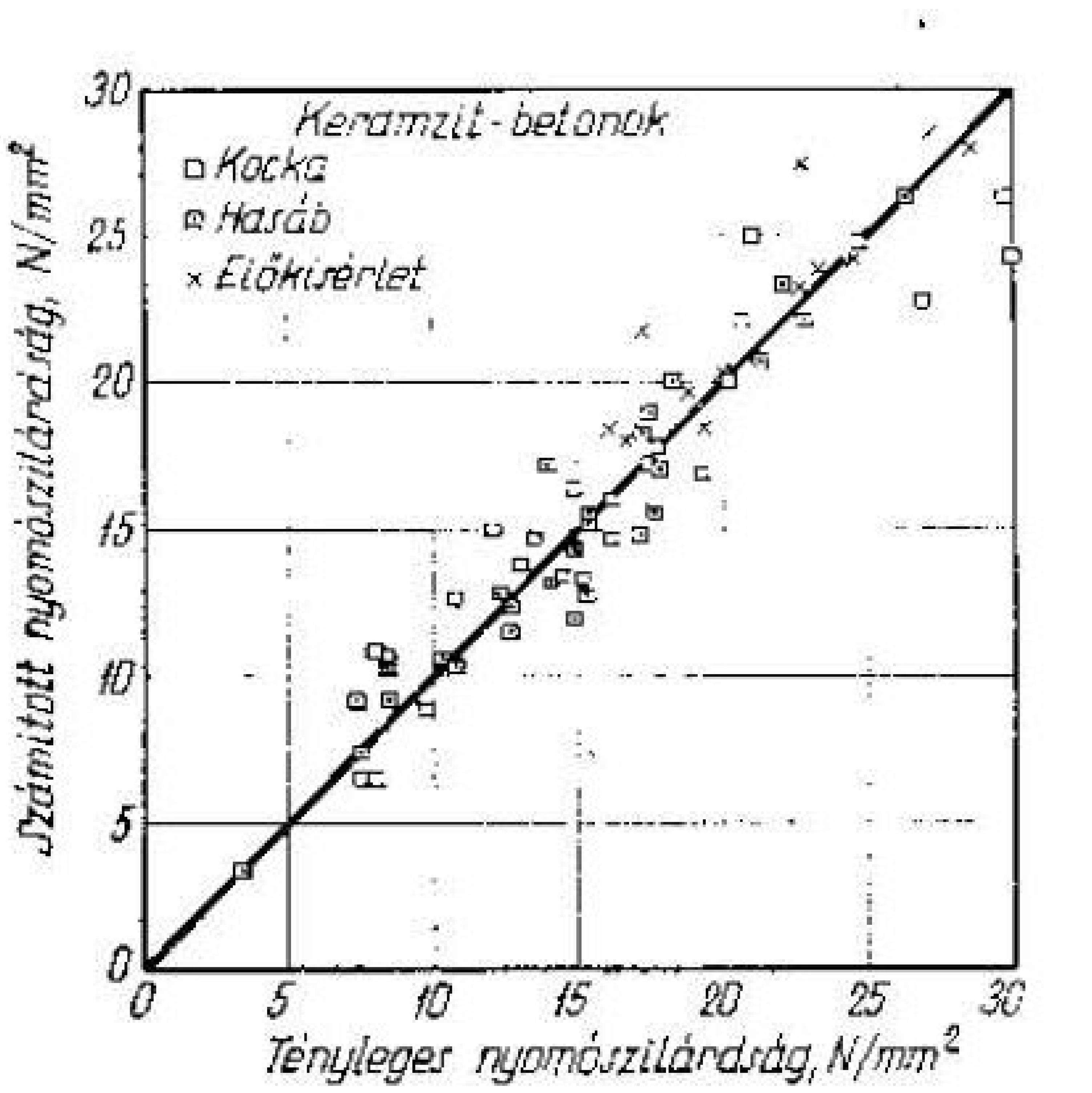
és a beton nyomószilárdsága: $R = V_{ch} \times R^{ch}$ (14)

ahol R^{ch} = a cementhabarcs nyomószilárdsága, N/mm^2,

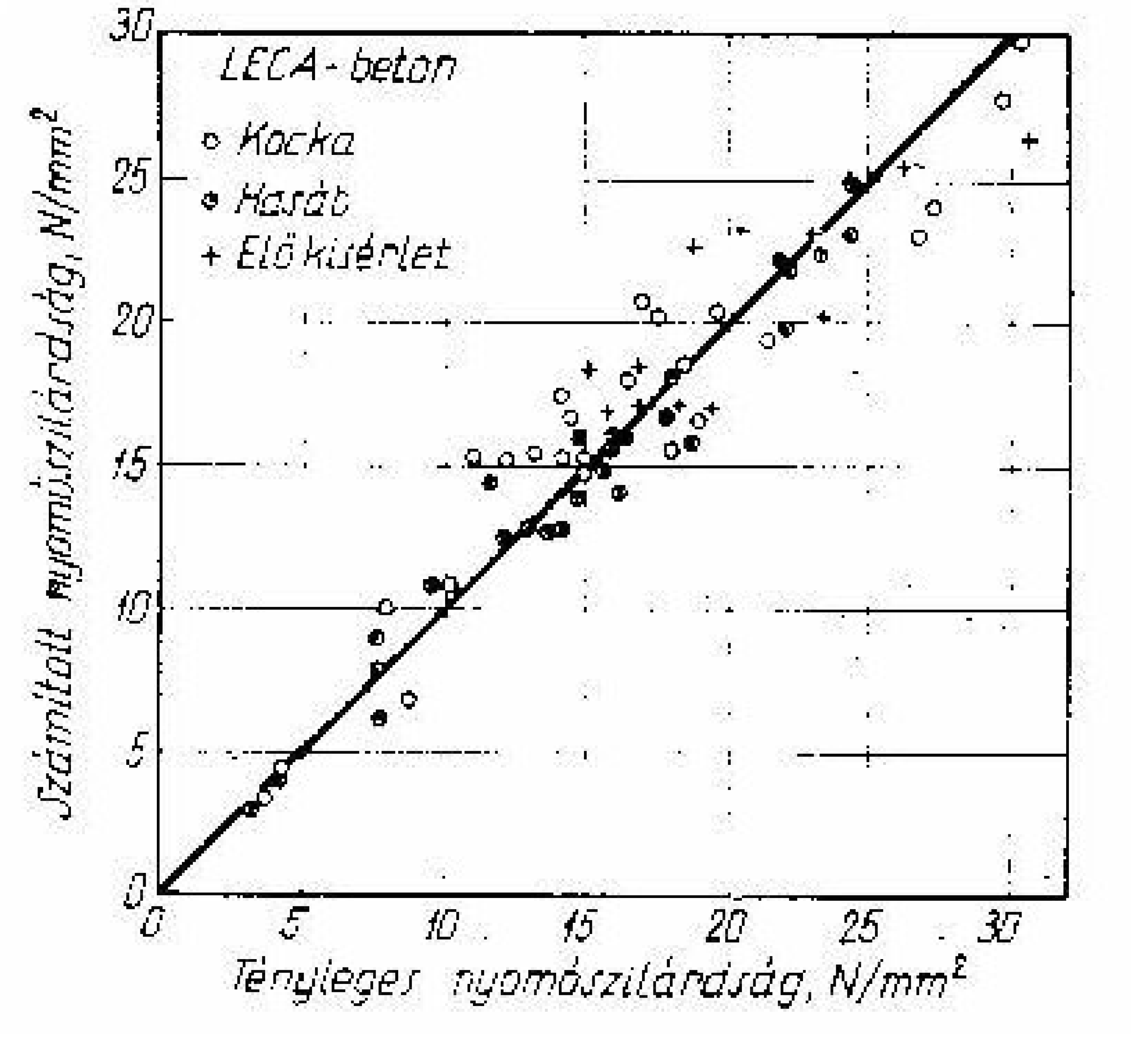
R = az agyagkavicsbeton nyomószilárdsága, N/mm^2,

V_{ch} = a cementhabarcs térfogata, m^3.

A (12) és (13) kifejezésekből számított cementhabarcs nyomószilárdságokat a 3. és 4. táblázat R_{sz}^{ch} oszlopában, az agyagkavics betonoknak az ezekből az adatokból a (14) szerint meghatározott nyomószilárdságát a 3. és 4. táblázatok R_{sz} oszlopában adtuk meg. A számított R_{sz} és a tényleges R (1. - 2. táblázatok) nyomószilárdságoknak a korrelációját a 2. és 3. ábrákon mutatjuk be.



2. ábra: A keramzit betonok nyomószilárdsági adatai



3. ábra: A Leca-agyagkavics betonok nyomószilárdsági adatai

A korrelációs együtthatókat a következő kifejezésekből számítottuk ki:

$$\tau = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^{n} \left(R_1 - R\right) \times \left(R_{sz,i} - R_{sz}\right) \qquad \sigma_r = \sqrt{\frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^{n} \left(R_1 - R\right)^2} \qquad \sigma_{R_{sz}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left(R_{sz,i} - R_{sz}\right)^2}$$

$$r = \frac{\tau}{\sigma_R \times \sigma_{R_{sz}}}$$

A korrelációs együtthatók az ebben a tanulmányban közölt adatok (1.-4. táblázatok) alapján:

keramzit betonra: *r = 0,97*
Leca-anyagú betonra: *r = 0,98*

Megjegyezzük, hogy valamennyi vizsgálati eredmény birtokában keramzit betonra és Leca-anyagú betonra egyaránt *r = 0,96* korrelációs együtthatót kaptunk.

Összefoglalás

A kétféle (cseh keramzit és osztrák Leca-anyag) duzzasztott agyagkaviccsal – amelyek szétmorzsolódási tényezője rendre 1,95 és 1,49 volt *Hummel* szerint – végzett vizsgálataink alapján megállapíthattuk, hogy a csekély önszilárdságú adalékanyag a beton nyomószilárdságát nem befolyásolja, hanem azt kizárólag a cementhabarcs tulajdonságai határozzák meg.

Vizsgálati eredményeink bizonyították, hogy a cementhabarcsra jutó vízmennyiség (az ún. aktív vízmennyiség) értékét nem az agyagkavics 0,5 órás vízfelvétele, hanem a beton cement- és homoktartalma befolyásolja. Számítására a (7) és (8) kifejezéseket határoztuk meg.

Vizsgálati eredményeink alapján bizonyítottuk, hogy az *Ujhelyi*-féle módosított víz/cement tényező alkalmas a könnyűbetonba ágyazott cementhabarcs szilárdságának és ennek révén a beton nyomószilárdságának igen jó előbecslésére {(12), (13) és (14) kifejezések}, hiszen a becsült és a tényleges nyomószilárdsági értékek korrelációja *r = 0,96*-ra adódott.

IRODALOM

[1] *KRUML, F.:* The Strength of Lightweight Concretes with Compact and Porous Structure. Proc. of RILEM Symposium. II. Bp. 1967. pp. 123 – 130

[2] *ŠTORK, J.:* A Method of Design of Lightweight Keramsite Aggregate Concretes with Regard to their Mechanical Properties and Thermal Insulation Conditions. Proc. of RILEM Symposium. II. Bp. 1967. pp. 231 – 236.

[3] *SHIRAYAMA, K:* Some consideration for testing and mix designing of lightweight aggregate concrete. Proc. of RILEM Symposium II. Bp. 1967. pp. 131-152

[4] *UJHELYI, J.:* A könnyűadalékanyagos beton fajtái, összetételük tervezése és a beton készítése. Mérnöki Továbbképző Intézet. Budapest, 1960.

[5] *BACHE, H. H.:* Strength of structural lightweight aggregate concrete. Proc. of RILEM Symposium II. Bp. 1967. pp. 95-122

[6] *MURAD, TOMA:* Az agyagkavicsbetonok tulajdonságainak a vizsgálata. ÉTI Kutatási Jelentés, Budapest, 1984.

[7] *UJHELYI, J.:* A beton levegőtartalmának a hatása. Magyar Építőipar. Budapest. 1980. 8. szám, pp. 469-481

VÍZÉPÍTÉSI SEGÉDLETEK

Dr. Ujhelyi János

BETONTECHNOLÓGIA I.

Lektor: Dr. Kausay Tibor   Szerkesztő: Vaskó László   VÍZDOK Budapest 1985

1. BEVEZETÉS

A termékek anyagköltsége az elmúlt évtizedben fokozatosan növekedett és az elmúlt években elérte a népgazdaság tűrőképességének a határait. Az anyaghányad növekedése az építőipari tevékenységben is tapasztalható, ezért hangsúlyozza az 1032/82.(VIII.1.) Mt számú határozat többek között a betonok készítésekor a cement és az acél megtakarításának a fontosságát. Ezt a két anyagot tömegesen használjuk, s mivel 1 t cementet kb. 130 liter, 1 t betonacélt kb. 700 liter olajjal egyenértékű hőenergiával lehet hazánkban előállítani, ezért gazdaságos alkalmazásuk egyúttal energiatakarékosságot is jelent.

A beton jelenleg a világon mindenütt és hazánkban is a legnagyobb mennyiségben felhasznált építőanyag; a hazai termelés kb. évi 10 millió m^3 és az előrejelzések szerint a következő 15-20 évben is a legfontosabb építőanyag marad. Lényeges tehát a népgazdaság számára a beton és vasbeton szerkezetek anyag- és energiatakarékos készítése a jövőben is.

Az Mt határozat megjelenése óta az anyagtakarékosságban ért el az építőipar eredményeket: változatlan betonmennyiség és betonminőség mellett 1983-84 években kb. 3 %-kal kevesebb cementet használt fel, mint 1981-82 években, s ez kb. 230 millió Ft/év költségcsökkentést jelentett. Ez a megtakarítás azonban elmarad az optimálisan elérhetőtől. Az elmaradásnak részben az az oka, hogy a beton előállításában közvetlen és közvetett módon résztvevők között az együttműködés nem tökéletes, részben az, hogy az új betonszabványok alkalmazása nem egységes, sok esetben tapasztalható félreértés, bizonytalanság.

A betonszerkezetek létrehozása olyan rendszer, amelynek alrendszerei ((beruházás, tervezés, építőanyag gyártás, építőgép gyártás, szállítás, kivitelezés, minőség-ellenőrzés és kutatás-fejlesztés) egymással kölcsönhatásban állnak. Ha az alrendszerek kapcsolata nem súrlódásmentes, akkor akadozik a rendszer működése, eredményeként növekednek a költségek, vagy csökken a szerkezet teherbíróképessége, tartóssága.

A következőkben – a teljesség igénye nélkül – néhány példával világítjuk meg a betonkészítés alrendszerei között lévő ama kölcsönhatásokat, amelyek az anyag- és energiatakarékosságot befolyásolják.

A *beruházó* tevékenysége nem adminisztratív, hanem elsősorban alkotó, műszaki munka. Végleges formában kell megfogalmaznia minden igényét és ezek gazdaságos kielégítését mind a kivitelezőnél, mind a tervezőnél ellenőriznie kell. Ezt akkor képes megtenni, ha tisztában van mindkét szakterület szabványaival, előírásaival, jogszabályaival, ismeri a beszerezhető anyagok választékát, termelési helyét és minőségét, az alkalmazható technológiákat, mert csak így mérlegelhető, hogy reálisak-e az igényei és azok kielégítése milyen kiadásokkal jár. Csak így kerülheti el a tervek kivitelezés közbeni módosítgatását, a felesleges bontásokat és átépítéseket, amelyek mindenkor többletköltséget, anyagpazarlást és határidőcsúszást jelentenek.

A *tervező* méretezi a szerkezeteket, meghatározza a készítendő beton mennyiségét és minőségét. Ehhez nem elegendő, ha csak a méretezés módszereit ismeri, hanem a betonnal szemben támasztott valamennyi követelménnyel tisztában kell lennie. Az agresszív talajvíz hatásának pl. a beton csak akkor áll ellen, ha legalább 0,4 bar víznyomásra vízzáró, ha víz/cement tényezője legfeljebb 0,5 és megszilárdult, légszáraz állapotában pórustartalma legfeljebb 10 térfogat %. Az ezeket a feltételeket kielégítő betonnak az átlagos nyomószilárdsága nem lehet kevesebb 30 N/mm^2-nél. Ha a tervező a szerkezetet csak teherbírásra méretezi és megelégszik pl. 10 N/mm^2 átlagos nyomószilárdság előírásával, akkor vagy nem lesz a szerkezet tartós, vagy időrabló vitákba bonyolódik a kivitelezővel és a beruházóval a rossz költségvetés miatt.

Az *építőanyag gyártói* közül megemlítjük az adalékanyag termelőjét, aki az MSZ 18291 vagy az MSZ 18293 szerinti előírásoknak megfelelő minőségű zúzottkő vagy kavics terméket készít, de a kivitelező ezt a terméket beton készítéséhez használja, amelyhez az MI-04.19-85 előírásait veszi figyelembe. Az MI a cementtakarékos betonok készítésére ösztönöz, ezért a minőség vagy a gazdaságosság érdekében esetenként a szabványokon túlmenő követelményeket is támaszt – joggal – az adalékanyaggal szemben. Ha a termelő nem lenne hajlandó tudomásul venni a felhasználónak az MI-re alapozott igényeit, akkor nem segítené a kivitelezőt a cementtakarékos betonok készítésében. Már itt meg kell jegyezni: a megrendelő a szállítási szerződésben kikötheti a termelő bizonylatolási kötelezettségét, és azt is megadhatja, hogy a minőségi bizonylat mit tartalmazzon. A betonok készítői azonban ezzel a lehetőséggel csak ritkán élnek.

Az *építőgép gyártó* készíti a betonmunkákhoz szükséges eszközöket és berendezéseket (fémzsaluzatok, munkahelyi szállítóeszközök, mérlegek, adagolók, keverőgépek, tömörítőeszközök stb.). Valamennyi berendezésnek szolgálnia kell az anyagtakarékosságot és az egyenletes betonminőséget, továbbá csökkentenie kell az emberi munkaerő felhasználását. Az eszközöket, gépeket gépláncba kell szervezni és ebben az egyes rendszerelemeknek egymáshoz viszonyítva azonos, vagy közel azonos színvonalon kell állniuk és illeszkedniük kell a felhasznált alapanyagok minőségi szintjéhez is. Hiába van korszerű, programvezérlésű betongyár, ha a mérlegek

nem hitelesíthetők, akkor a betonminőség egyenletessége szempontjából nem ér többet, mint a kézi keverés. Hiába van továbbá korszerű, pontos mérleg, ha az adalékanyag nagyon ingadozó szemmegoszlású, akkor a minőség egyenletessége szempontjából nem ér többet, mint a térfogat szerinti adagolás.

A *szállítónak* az alapanyagokat minőségüknek megfelelő módon, a legrövidebb úton kell fuvaroznia. Például az osztályozott adalékanyagot frakciónként elkülönítve kell szállítania, a cementet meg kell védenie a szennyeződéstől és a nedvességtől stb. Az adalékanyag szállítási költsége szinte kivétel nélkül többszöröse a termelői árnak, sokszor azért, mert nem a megrendelő, hanem a szállító érdekei érvényesülnek.

Hazánkban a betonok közel 50 %-át transzportbeton üzemben termelik. A keverőgépkocsi vezetőjének legalább alapfokon ismernie kellene a friss betonkeverék tulajdonságait és az ezeket károsan befolyásoló tényezőket, mert a szállítás közben teljes felelősséggel kellene, hogy tartozzék a beton minőségéért is, nemcsak a biztonságos közlekedésért.

A *kivitelező* tevékenységének csak néhány problémáját említjük meg.

A hazai betontermelés mintegy 1/3-a csekély szilárdságú, C4-C8 szilárdsági jelű. Az ÉTI Betontechnológiai Tanácsadó Szolgálat felmérései szerint ebben a kategóriában 50-200 % a többletszilárdság. Ennek egyik oka az, hogy a beton készítői nem használnak 250kspc60 jelű cementet. A cementipar felkészült ennek a klinkertakarékos cementnek a gyártására, de kevés a fogadósíló, nagyobb a szállítási távolság (csak Hejőcsabán készül), és sok esetben ezért nincs kereslet.

Nagyszilárdságú (C25–C55 jelű) betont csak nagyon csekély mennyiségben állítanak elő, bár feltételei adva vannak: van osztályozott, jó minőségű adalékanyag (bár nem minden termelőhelyen lehet beszerezni), vannak jól felszerelt betonkeverő telepek, van megfelelő minőségű cement (550 pc) és vannak adalékszerek (képlékenyítő, folyósító). A kivitelezés azonban nem vállalkozik szívesen nagyszilárdságú betonok készítésére, és ez visszahathat a tervezésre is. Pedig a nagyszilárdságú betonokban jobban kihasználható a nagyszilárdságú acélbetét és csökkenthető a betonszerkezet keresztmetszete.

A *minőség-ellenőrzés* – néhány kivételtől eltekintve – csak utólagos vizsgálati eredményeket regisztrál, holott legfontosabb feladata lenne résztvenni a termelésben, a termelés irányításában. Többet ér az adalékanyag legfontosabb jellemzőinek rendszeres ellenőrzése és a beton összetételének az illesztése a mért jellemzőkhöz, mint a betonpróbatestek 28 napos nyomószilárdságának rutinvizsgálata, mert ezek az utóbbi adatok a termelést nem befolyásolhatják. Csak a jól szervezett gyártásközi ellenőrzés segítségével lehet idejében felfedni az alapanyagok és a technológia kedvezőtlen változásait, ezeket kiigazítani, s így egyenletes betonminőségez elérni.

A *kutatás-fejlesztés* feladata egyrészt a betontulajdonságait befolyásoló tényezők feltárása, másrészt a beton tervezési, készítési és minőségellenőrzési módszereinek a fejlesztése. Tevékenysége egyaránt kapcsolódik a beruházó, a tervező, az építőanyag és az építőgép gyártó, a kivitelező és a minőségellenőr munkájához. A kutatás-fejlesztési eredmények betonipari bevezetése azonban nem zökkenőmentes, az új anyagok, módszerek, eszközök alkalmazásával szemben sok a fenntartás, a vállalati érdekeltség csekély, különösen akkor, ha a fejlesztés elsősorban minőségjavítást ígér és csak kevés vállalati gazdasági eredményt.

A vízépítési üzemmérnökök a beton és vasbeton szerkezetek előállításában különböző munkakörökben vesznek részt: beruházók, tervezők, kivitelezők, minőségellenőrök vagy fejlesztők. A szaküzemmérnök képzés betonkészítéssel kapcsolatos előadásainak és ennek, az előadások anyagát összefoglaló jegyzetnek az a célja, hogy a betonszerkezetek előállítása rendszerének és alrendszereinek a súrlódásmentes működése érdekében a tudnivalókat egységes elvek alapján foglalja össze.

A jegyzet követi az MI-04.19-85 Műszaki Irányelv (a továbbiakban: MI) felépítését, tartalmát és jelöléseit, ezért ez a jegyzet az MI vonatkozó fejezeteinek a tanulmányozása nélkül nem érthető. Az MI-ben részletesen közölt tudnivalókat a jegyzet nem tárgyalja, csak utal az MI vonatkozó fejezetére (pl. a fogalom- és jelmagyarázatot lásd MI 1.fejezet). A Betontechnológia I. kötet a beton alapanyagaival, tulajdonságaival, összetételével, készítésének általános ismereteivel és a minőségellenőrzéssel foglalkozik. A Betontechnológia II. kötet a tömegesen használt különleges tulajdonságú vagy készítésű betonokat tárgyalja.

2. A BETON ALKOTÓANYAGAI

2.1. A cement

A betonokat az MSZ 4702 szabványnak megfelelő cementekkel kell készíteni. Munkahelyi vizsgálatuk módszereit az MSZ 4713/2, laboratóriumi vizsgálataikat az MSZ 523, követelmény-értékeiket az MSZ 4702 foglalja össze. A cementek kiválasztásának a szempontjait az MI 1.1. fejezete ismerteti.

A cement finomra őrölt, szervetlen, hidraulikus kötőanyag: vízzel keverve levegőn és víz alatt is megszilárdul. A cement és a víz keverékéből álló cementpép a hozzáadott szemcsés anyagokat (adalékanyagokat) összeragasztja és rövid idő alatt kőszerű, szilárd, vízben oldhatatlan betonná egyesíti.

A cement fő alkotórésze a portlandklinker (az ásványi összetételtől függő mennyiségű mészkő és márga, valamint 3-5 % gipszkő keverékéből zsugorodásig égetett és finomra őrölt anyag), továbbá tartalmazhat legfeljebb 1 % mennyiségben cementgyártási segédanyagokat, valamint 10-60 % mennyiségben hidraulikus

pótanyagokat (pernye, granulált kohósalak, trasz). A portlandcement klinker legfontosabb ásványi alkotóelemei a következők:

- trikalcium-szilikát (rövidített jele: C_3S, képlete: 3 $CaO.SiO_2$, megnevezése: alit), a legfontosabb klinkerásvány, mennyisége a cementben általában 37-60 %, gyorsan szilárdul, nagy a kezdőszilárdsága és nagy a hőfejlesztése;
- dikalcium-szilikát (rövidített jele: C_2S, képlete: 2 $CaO.SiO_2$, megnevezése: belit), a klinker 15-37 %-át teszi ki, lassan, de egyenletesen és hosszú időn át szilárdul, kedvező az utószilárdulása, kicsi a hőfejlesztése;
- trikalciumaluminát (rövidített jele: C_3A, képlete: 3 $CaO.Al_2O_3$, megnevezése: felit), részaránya a klinkerben 7-15 %, gyorsan szilárdul, kötéshője nagy, zsugorodása tetemes, kémiai ellenálló képessége rossz;
- tetrakalciumaluminátferrit (rövidített jele: C_4AF, képlete: 4 $CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$, megnevezése: celit), mennyisége a klinkerben 10-18 %, lassan köt, jó a kémiai ellenálló képessége.

A cement klinkerásványai a hozzákevert vízzel kémiai reakcióba lépnek, a vizet hidroxilgyök alakjában megkötik; ez a folyamat a hidratáció. Első szakaszában kolloidális oldat keletkezik, a szemcsék felületén kocsonyás kovasavgél képződik, majd szilárd vegyületek válnak ki az oldatból (kalcium-hidroszilikátok és –aluminátok), és a gél fokozatosan szilárd halmazállapotúvá válik.

A hidratációban kezdetben csak a cementszemcsék igen vékony felületi kérge vesz részt, amely duzzad, majd később a száradás miatt zsugorodik. A cement 28 napos korra kb. 15 % vizet köt le kémiailag, míg a teljes hidratáció után (évek, évtizedek múlva) kb. 23 %-ot.

A szilárd cementkő kapilláris. És gélpórusokat tartalmazó anyag, szilárdságát a pórustartalom és a hidratáció foka (a kémiailag kötött víz mennyisége) határozza meg. A hidratáció hőfejlődéssel járó folyamat (exoterm hőfejlesztés), a felszabaduló hő a kötéshő.

A cementek jellemzőit az MI 1.1.1. fejezete foglalja össze. Egyszerű eszközökkel, a munkahelyen is megvizsgálható tulajdonságok: a csomósodás, a vízigény, a kötésidő, a térfogatállandóság, az őrlésfinomság és az álkötés. Ezekből a jellemzőkből tájékozódni lehet a vizsgált cementből készített beton néhány várható tulajdonságáról.

A betonok nyomószilárdságát elsősorban a cement kötőereje, vízérzékenysége és abszolút térfogata befolyásolja. Ezeket a tulajdonságokat csak laboratóriumban lehet megvizsgálni, hatásukat bővebben a Jegyzet 3.3., illetve az MI 2.2.-2.4. fejezetei tárgyalják.

A cement abszolút térfogata (V_c) a cement tömegének (m_c) és ρ_c sűrűségének a viszonya. Mivel a hazai cementek átlagos sűrűsége $\rho_c = 3{,}1$ g/cm^3, ezért a cement abszolút térfogata jó közelítéssel:

$$V \frac{m_c}{3{,}1} \quad \text{l/m}^3 \qquad (1)$$

képletből számítható.

Az MSZ 4702 szabványban felsorolt cementek közül jelenleg a következő fajták kaphatók:

- bélapátfalvi 350 ppc 10, 450 pc
- beremendi 350 ppc 10, 350 ppc 20, 450 pc
- hejőcsabai 350 kspc 40, 350 kspc 20, 350-S54 pc, 450 pc
- lábatlani 350 ppc 10, 350-S54 pc
- váci 350 kspc 40, 350 kspc 20, 450 pc, 450-R pc

Főleg lakossági építkezésekhez nagymennyiségű cementet importálunk. Ezek minőségéről az Építésügyi Minőségellenőrző Intézet nyújt felvilágosítást.

2.2. Az adalékanyag

A betonok adalékanyaga általában folyami kotrásból vagy bányából származó homokos kavics és/vagy zúzottkő (bazalt, andezit, mészkő, dolomit), ritkábban darabos kohósalak, természetes előfordulású murva, vagy könnyű adalékanyag (tufa, perlit, kohóhabsalak, szénsalak, polisztirol gyöngy, duzzasztott agyagkavics), illetve nehéz adalékanyag (barit, hematit, vashulladék, acélsörét), vagy nagy hidrátvíz tartalmú adalékanyag (bauxit, limonit). Az adalékanyagok legfontosabb jellemzőit az MI 1.2.1. fejezete foglalja össze, tulajdonságait az MSZ 18291 és MSZ 18293 tárgyalja, vizsgálatának módját az MSZ 4713 és az MSZ 18280-18290 szabályozza.

Az adalékanyag különböző méretű szemcséinek aránya, a szemmegoszlás, az adalékanyag legfontosabb jellemzője. A különböző méretű szemcsék megnevezése a következő:

- 0,002 mm-nél kisebb szemcsék : agyag
- 0,02-0,002 mm-es szemcsék : iszap
- 1 mm-nél kisebb szemcsék : finomhomok
- 1-4 mm-es szemcsék : durva homok
- 4 mm-nél nagyobb szemcsék : kavics

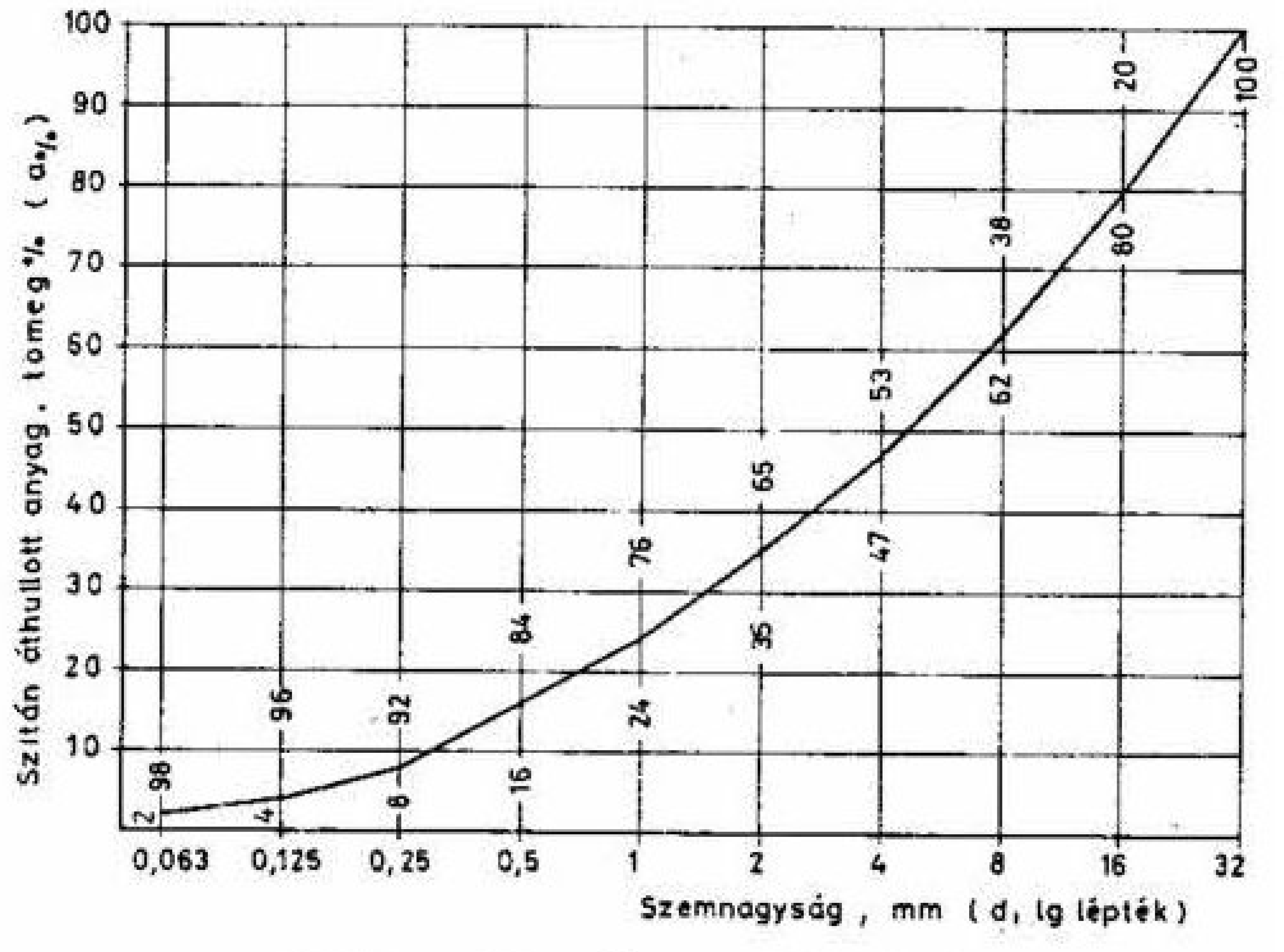
A szemmegoszlást az 1. ábra szerinti görbével lehet ábrázolni és a finomsági modulussal lehet számszerűen jellemezni. A finomsági modulus:

$$m = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(100-a_i\right)}{100} \qquad (2)$$

Az 1. ábrán bemutatott példán a szabványos méretű szitákon fennmaradt szemcsék (100-a_i) mennyiségének összege:

$$\sum_{i=1}^{n}\left(100-a_i\right) = 98+96+!92+84+76+65+53+38+20+0 = 622$$

tehát a finomsági modulus: m = 622/100 = 6,22



1. ábra: Szemmegoszlási görbe

Az 1. ábrából látható, hogy az MSZ 4713 szerinti szitasorozat 0,063 mm szemcsemérettel kezdődik és négyzetlyukú szitákra, illetve rostákra épül. Ez a Nemzetközi Szabványosítási Szervezet (International Standard Organization, ISO) által ajánlott ún. ISO-szitasorozat. A finomsági modulust először *Abrams* alkalmazta és az ún. *Tyler-szitasorozatot* használta, amelynek méretei: 0,147; 0,294; 0,59; 1,19; 2,38; 4,75; 9,5; 19; 38; 76 és 152 mm (négyzetlyukú sziták és rosták). Ha a kezdő szita mérete 0,001 mm, akkor az ún. *Spindel-féle* dekadikus finomsági modulust lehet kiszámítani. Ha tehát finomsági modulusról beszélünk, illik megadni, melyiket értjük alatta. A továbbiakban a jegyzet az ISO-szitasorozatnak megfelelően számított finomsági modulust alkalmazza. Meg kell jegyezni, hogy a hazai szakirodalom – *Palotás* után – sokáig az Abrams-féle finomsági modulust használta.

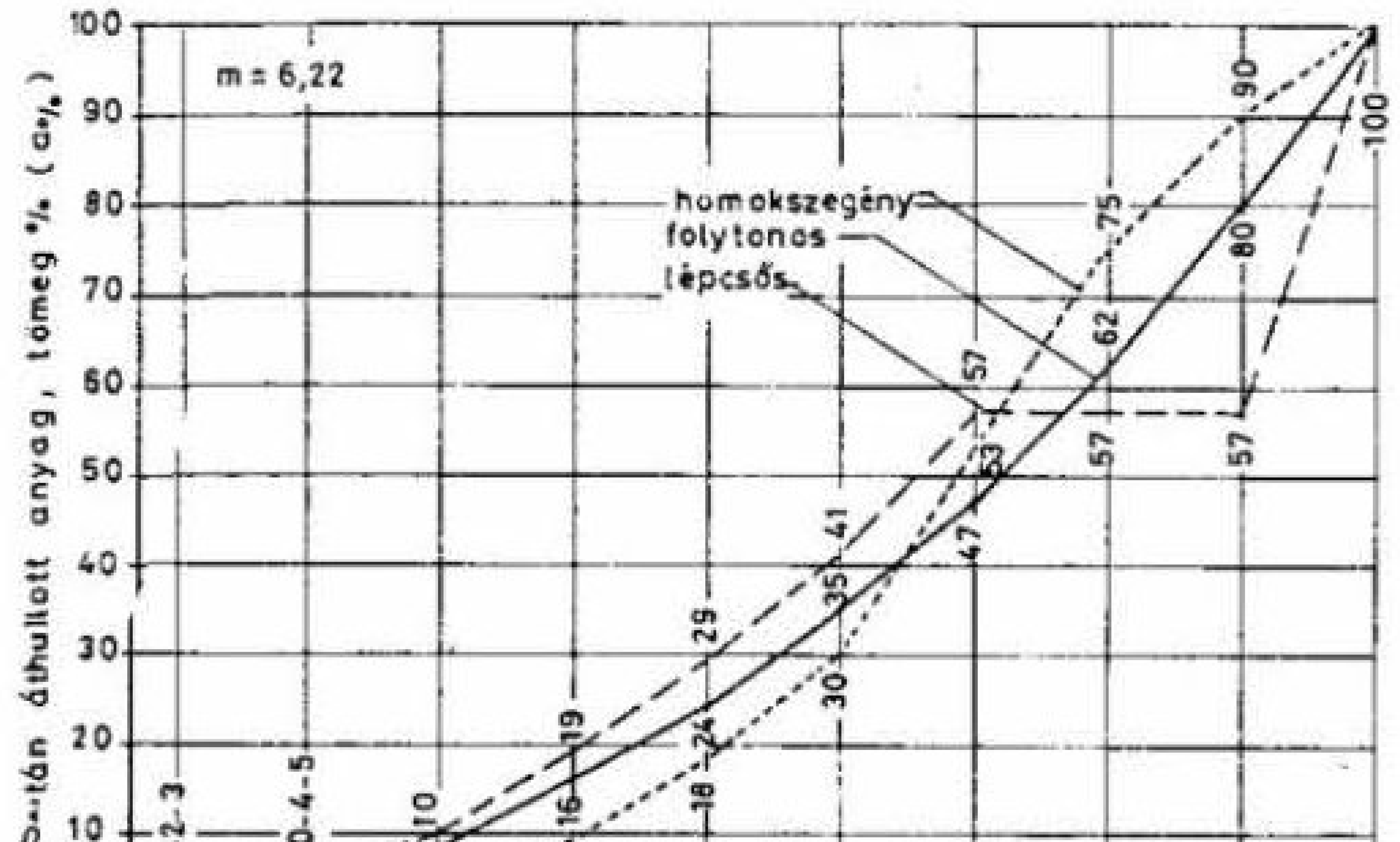
Az adalékanyag szemmegoszlásával kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy régebben négyzetlyukú szitákon (d = 1mm) és körlyukú rostákon (d > 1 mm) kellett vizsgálni. Az MSZ 4713/3 és az MSZ 18288/1 valamennyi szemcsméretre négyzetlyukú szitát írt elő. A négyzetlyukú sziták $d_{\square}$ mm lyukbősége a körlyukú rosták d_o lyukbőségéből

$$d_{\square} = d_o / 1,25\ mm \qquad (3)$$

összefüggésből számítható át. Ennek megfelelően az alábbi szemcseméretek felelnek meg egymásnak:

d_o mm :	2,5	5	10	15	20	30	40	60	80	120	156
$d_{\square}$ mm :	2	4	8	12	16	24	32	48	63	96	125

Ha a vizsgálathoz a régi körlyukú rosták állnak rendelkezésre, akkor a szemcseméreteket a (3) képlettel kell átszámítani a négyzetlyukú szitákra és a szemmegoszlási görbét a négyzetlyukú sziták méretének megfelelően kell megrajzolni.



2. ábra: Azonos finomsági modulusú, de eltérő szemmegoszlású adalékanyagok

Az 1. ábrából látható, hogy a szemmegoszlást féllogaritmikus léptékben szerkesztjük meg: a vízszintes tengelyre a szemnagyságokat logaritmikus léptékben rakjuk fel s ennek eredményeképpen az ISO (vagy a Tyler) kvadratikus szitasorozat tulajdonképpen lineáris szitasorozatot ad. Ezért a finomsági modulus a görbe feletti területet jellemzi.

A finomsági modulus alapján következtetni lehet ugyan az adalékanyag szemmegoszlására, de változatlan finomsági modulusú homokos kavics vagy zúzottkő homoktartalma nagyon változó lehet a 2. ábrának megfelelően: a szabványos, folytonos görbén kívül lépcsős vagy homokszegény is lehet az adalékanyag. A szemmegoszlási görbe jellege fejezhető ki az ún. egyenlőtlenségi tényezővel, amelynek értéke:

$$U = d_{70} / d_{10} \qquad (4)$$

ahol d_{70} a 70 % áthulláshoz, d_{10} a 10 % áthulláshoz tartozó szemnagyság, mm-ben. Számítása – a féllogaritmikus ábrázolás miatt – a következő:

$$d_{70} = 10^{y1} \quad \text{és} \quad y_1 = \left[\frac{\lg d_4 - \lg d_3}{a_4 - a_3} \times (70 - a_3) \right] + \lg d_3 \tag{5}$$

$$d_{10} = 10^{y2} \quad \text{és} \quad y_2 = \left[\frac{\lg d_2 - \lg d_1}{a_2 - a_1} \pm \times (10 - a_1) \right] + \lg d_1 \tag{6}$$

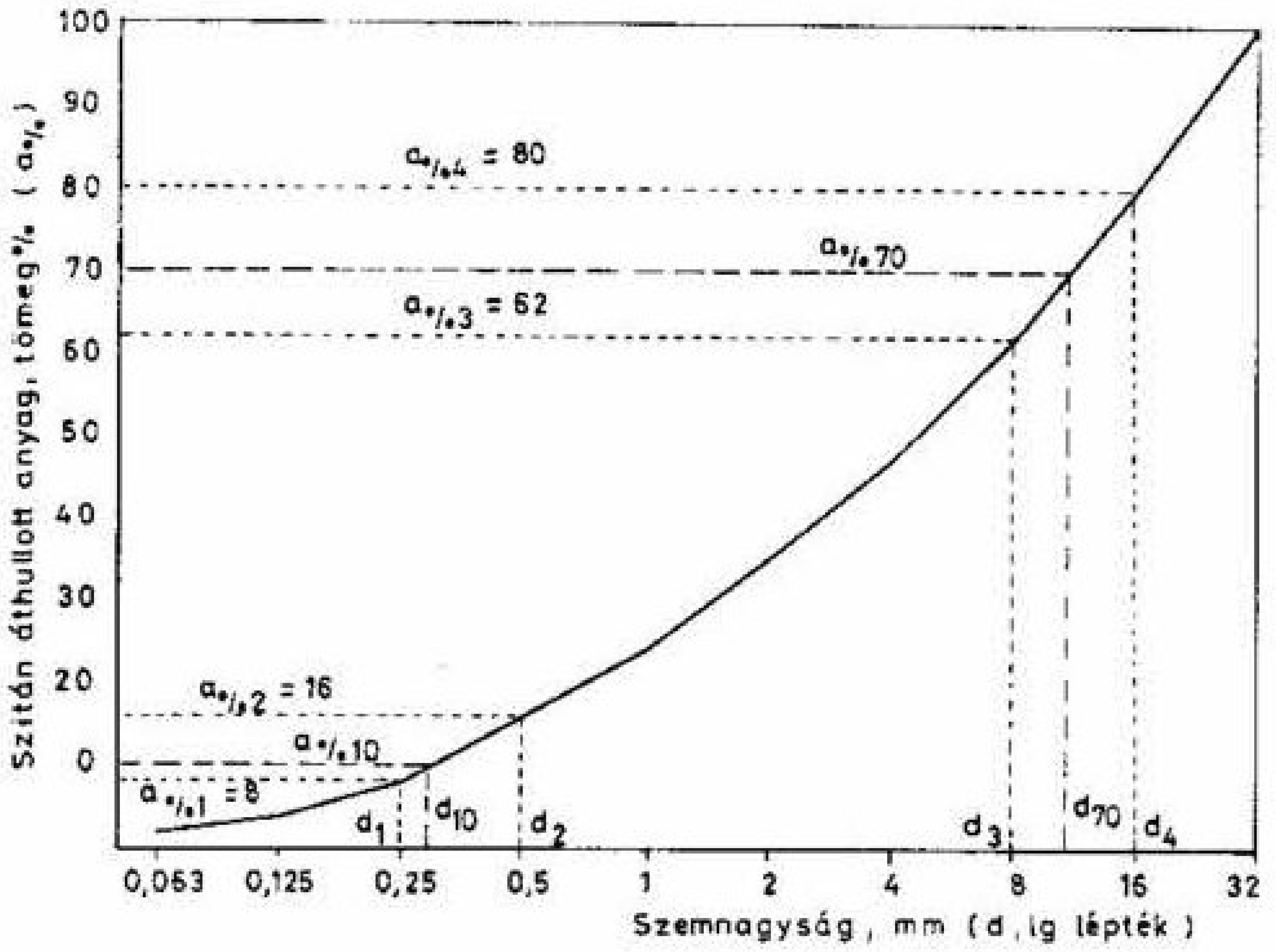
Az (5) és a (6) képletekben a d_i szemnagyságok és az a_i áthullási százalékok értelmezése a 3. ábrán követhető. Az ábra szerint

$$a_4 > 70 > a_3$$

azaz a_4 a 70 % áthullást közvetlenül követő, illetve a_3 a közvetlenül megelőző áthullási százalék (a_4 a d_4, míg a_3 a d_3 szabványos szemnagysághoz tartozik). Ugyanígy

$$a_2 > 10 > a_1$$

azaz a_2 a 10 % áthullást közvetlenül követő, illetve a_1 a közvetlenül megelőző áthullási százalék (a_2 a d_2, míg a_1 a d_1 szabványos szemnagysághoz tartozik).



3. ábra: Az egyenlőtlenségi tényező számítása

A 2. ábrán látható szemmegoszlásokra az (5) és a (6) képletek tényezői a következők:

	a_4	d_4	a_3	d_3	a_2	d_2	a_1	d_1
Homokszegény	75	8	53	4	18	1	9	0,5
Folytonos	80	16	62	8	16	0,5	8	0,25
Lépcsős	100	32	57	16	10	0,25	10	0,25

Ezekből az adatokból U értékei a (4) képlet alapján számíthatók:

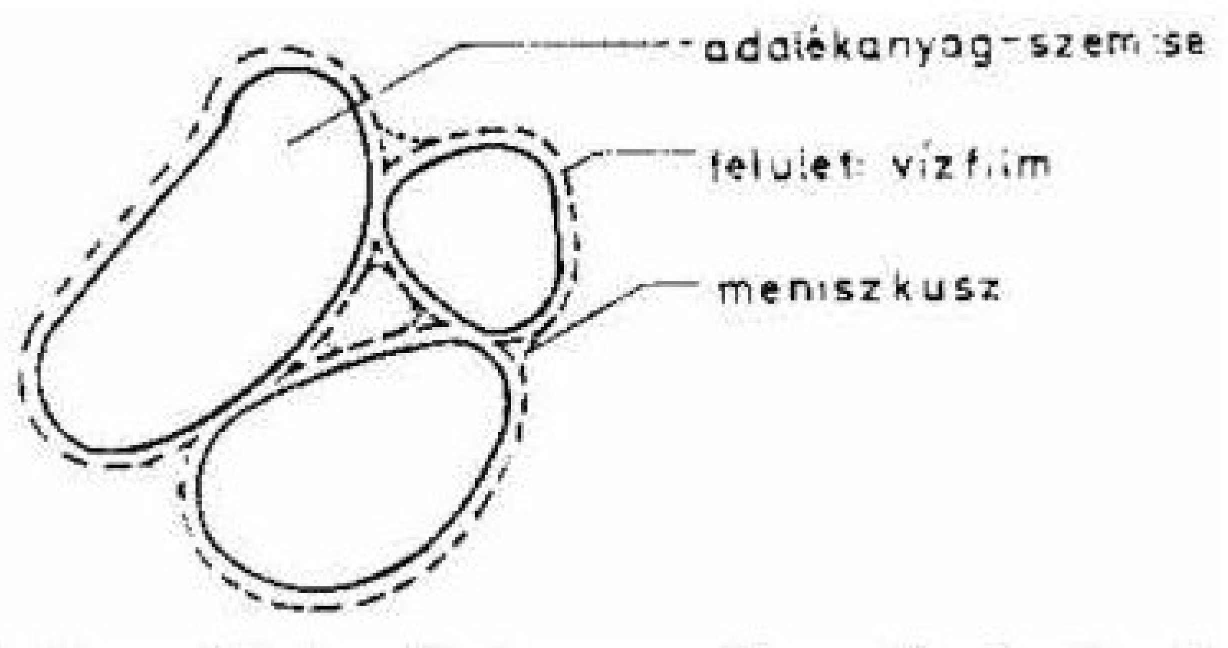
homokszegény anyagra:	d_{70} = 6,83	d_{10} = 0,54	U_1 = 12,6
folytonos anyagra :	d_{70} = 10,83	d_{10} = 0,30	U_1 = 36,6
lépcsős anyagra :	d_{70} = 19,73	d_{10} = 0,25	U_1 = 78,9

Az eredményekből látható, hogy változatlan finomsági modulus mellett fokozatosan nő az egyenlőtlenségi tényező a homoktartalom növekedésével. Betontechnológiai szempontból fontos jellemzők még az adalékanyag legnagyobb szemnagysága, szennyezettsége, nedvességtartalma, vízigénye és mértékadó térfogata, illetve tömege.

A nedvességtartalom vizsgálatának a módját az MSZ 18284/3 írja elő: az adott térfogatú adalékanyag tömegét eredeti állapotában meg kell mérni, utána tömegállandóságig ki kell szárítani és ismét megmérni. A tömegcsökkenés a nedvességtartalom, amelyet a száraz adalékanyag tömeg %-ában vagy térfogat %-ában kell kifejezni.

A vízigény értelmezése a következő:

Ha szemcsés, vízben nem oldódó halmazt vízzel keverünk meg, azaz a halmazt nedvesítjük, akkor a víz a tömör szemcsék felületén a 4. ábrának megfelelően helyezkedik el. A vízfilm vastagsága a víz felületi feszültségétől függ (a víz felületi feszültsége 20 °C hőmérsékleten 0,0765 N/m), továbbá attól, hogy a halmaz nyugalomban marad-e a nedvesítés után, vagy ki van-e téve valamilyen dinamikus hatásnak (pl. vibrálásnak). Minél kisebb a szemcse átmérője, annál nagyobb a vízfilm viszonylagos vastagsága.



4. ábra: Nedvesített szemcséken elhelyezkedő vízfilm

Ha egy nedvesített szemcsés halmazt tömörítünk, akkor a vízfilm segíti a szemcsék elmozdulását, elcsúszását, tehát a tömör struktúra kialakulását. Minél kisebb a tömörítőhatás, annál vastagabb vízfilmre van szükség a teljes tömörség eléréséhez. A szemcsés adalékanyagból készített beton tömörítéséhez szükséges munkát a friss betonkeverék konzisztenciája fejezi ki (lásd Jegyzet, 3. fejezet), a konzisztenciától függően kell tehát megállapítani az adalékanyag vízigényét is.

Az Építéstudományi Intézetben végzett vizsgálatok szerint a legfeljebb 3 térfogat % agyag-iszapot tartalmazó homokos kavics vízigénye a következő összefüggésből számítható:

FN betonra: $w_{ao} = 19{,}4 \times e^{-0{,}2 \cdot m}$ *tömeg %* (7)

KK betonra: $w_{ao} = 21{,}5 \times e^{-0{,}19 \cdot m}$ *tömeg %* (8)

K betonra: $w_{ao} = 23{,}6 \times e^{-0{,}18 \cdot m}$ *tömeg %* (9)

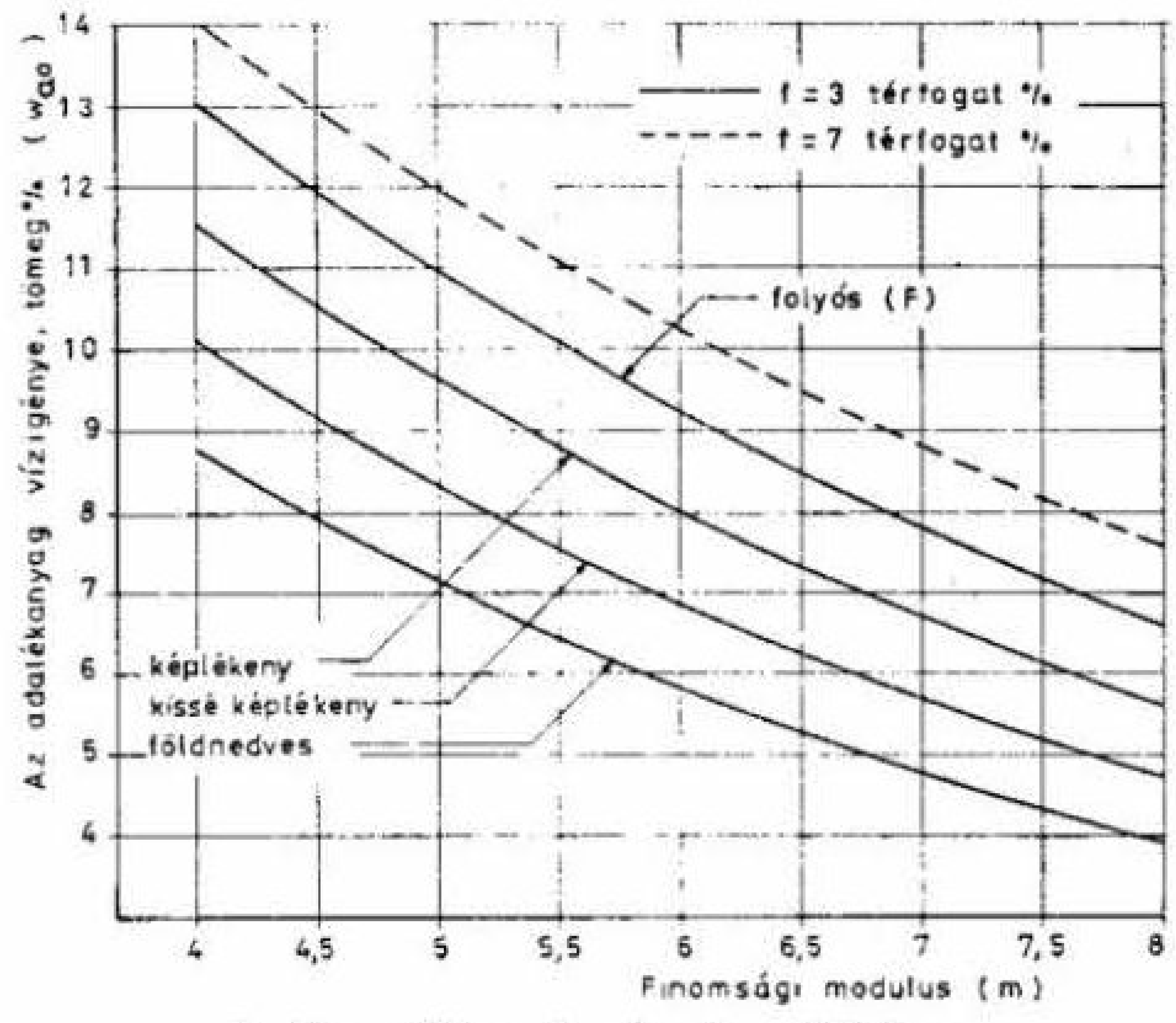
F betonra: $w_{ao} = 25,7 \times e^{-0,17 \cdot m}$ *tömeg %* (10)

ahol m = az adalékanyag finomsági modulusa.

Ha a homokos kavics agyag-iszap tartalma 3 térfogat %-nál nagyobb, akkor minden % növekményre w_{ao} értékét 0,25 %-kal kell megnövelni, tehát az adalékanyag teljes vízigénye:

$$w_a = w_{ao} + (f\text{-}3) \times 0,25 \quad \text{tömeg } \% \qquad (11)$$

ahol f = a homokos kavics agyag-iszap tartalma, térfogat %.



5. ábra: Homokos kavics vízigénye

Az 5. ábrán folytonos vonal tünteti fel f = 3 térfogat % mellett w_{ao} értékeit, míg szaggatott vonal jelzi a folyós konzisztenciájú betonokra f = 7 térfogat % mellett a homokos kavics vízigényét.

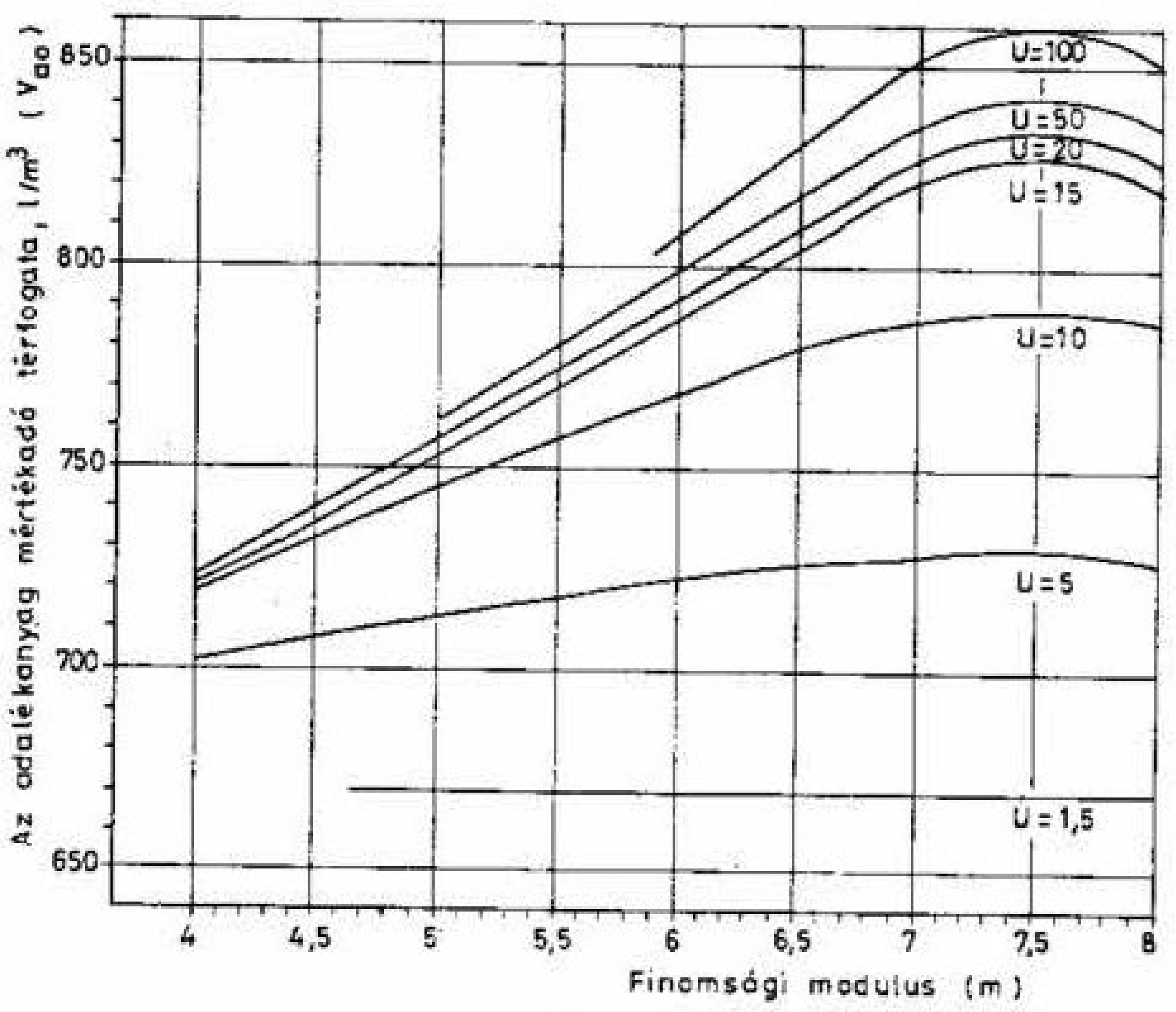
A különböző legnagyobb szemnagyságú és szemmegoszlású adalékanyagokból 1 m^3 betonba eltérő mennyiség dolgozható be a cementtartalomtól, a konzisztenciától és az alkalmazott tömörítési mód-szer-től függően. Mértékadó értéke az m_c = 125 kg/m^3 ce-menttartalmú és adott konzisztenciájú betonba a konzisztenciához illesztett, hatékony tömörítéssel, vízvesz-teség nélkül bedolgozható adalékanyag térfogata, en-nek jele: V_{ao} liter/m^3.

Az adalékanyag mértékadó térfogata a szemalaktól, a finomsági modulustól és az egyenlőtlenségi tényezőtől, továbbá az adalékanyag vízmegtartó képességétől függ. Általában annál nagyobb a mértékadó térfogat, minél közelebb van a szemcsék alakja a gömbhöz, minél nagyobb a finomsági modulus és az egyenlőtlenségi tényező, továbbá minél jobb a vízmegtartóképesség. Ez utóbbi tulajdonságnak főleg a képlékeny és folyós konzisztencia mellett van jelentősége.

Az Építéstudományi Intézet vizsgálatai szerint a gömbölyű szemcsékből álló homokos kavicsok mértékadó térfogata a földnedves konzisztenciájú betonokban a 6. ábra szerint változik, tehát lineárisan függ össze a finomsági modulussal. Meg kell jegyezni, hogy a 6. ábra szerinti mértékadó térfogatokat vibrodöngölő alkalmazásával lehet elérni.

A képlékeny konzisztenciájú, rövid ideig vibrált betonban a homokos kavics adalékanyag mértékadó térfogata az *m* finomsági modulus és az *U* egyenlőtlenségi tényező függvényében:

$$V_{ao} = 650+22\times[lg(U\text{-}0,5) \times 64 / \{16 + (m\text{-}7)^2\}] \qquad (12)$$



6. ábra: A homokos kavics mértékadó térfogata földnedves konzisztenciájú betonkeverékekben (m_c = 125 kg/m^3

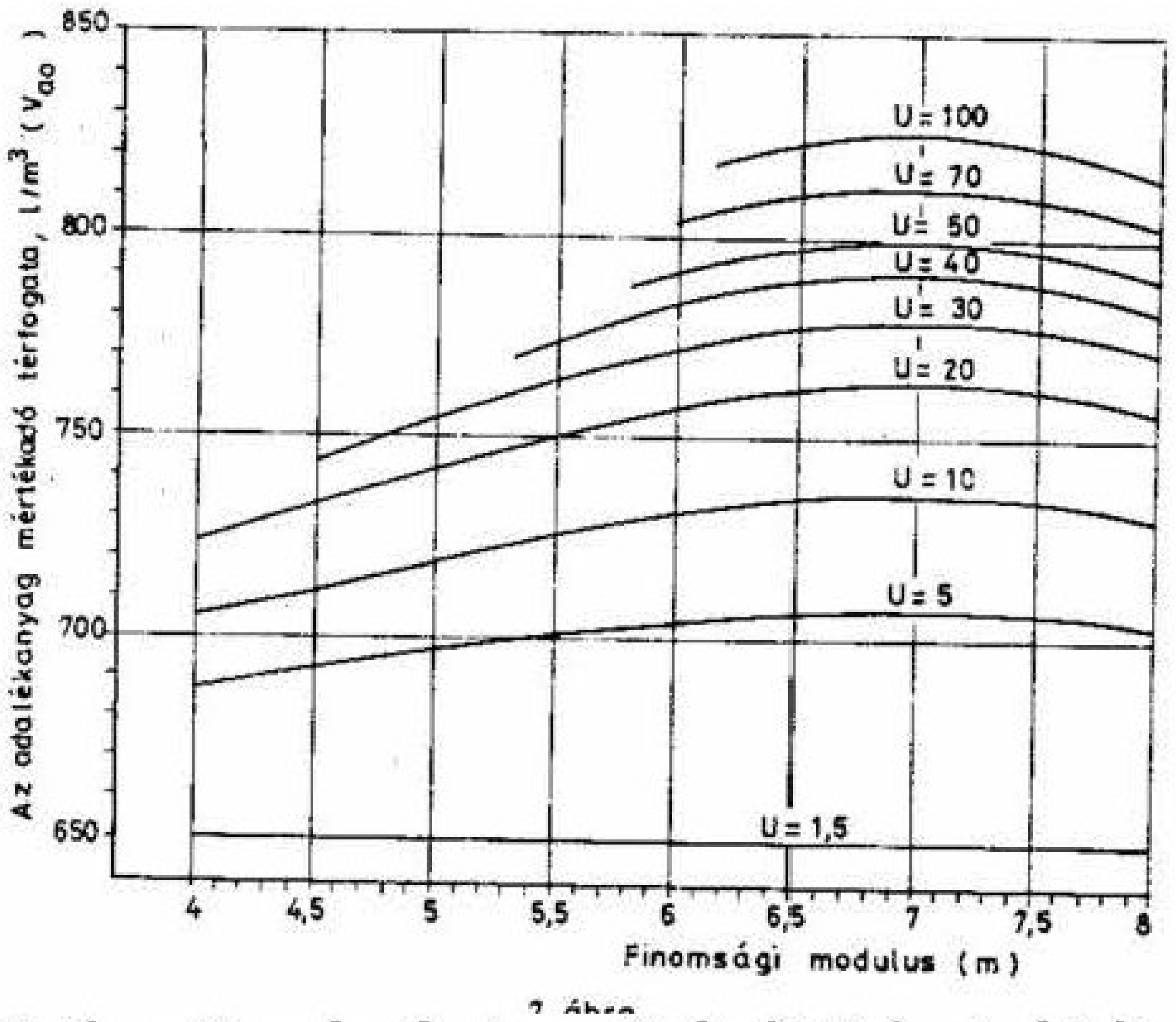
képletből számítható. Ennek az összefüggésnek az a magyarázata, hogy minden egyszemcsés homok vagy kavics (pl. 1-2 mm, 2-4 mm, 4-8 mm, 8-16 mm stb.) egyenlőtlenségi tényezője – a szemnagyságtól függetlenül – $U = 1,5$ és mértékadó térfogata a 7. ábra szerint 650 liter/m^3, mivel lg(1,5-0,5) = lg1 = 0, tehát a (12) szerint V_{ao} = *650 liter/m*^{3}. A vizsgálati eredményekre változatlan *U* mellett szerkesztett görbék hullámfüggvénnyel közelíthetők, amelynek általános alakja:

$$y = \frac{a^3}{a^2 + x^2} \qquad (13)$$

A hullámfüggvényben a az inflexiós pont abszcisszája, amely az ÉTI vizsgálatai szerint $m = 4$ függőlegesében van (tehát $4^3 = 64$ és $4^2 = 16$), továbbá a legnagyobb mértékadó térfogat $m = 7$ finomsági modulusra mérhető. Ha $m > 7$, akkor csökken a víztartó képesség, és ennek következtében – a szükségszerűen enyhébb tömörítés miatt – csökken a mértékadó térfogat is.

Az adalékanyag mértékadó tömege a mérték-adó térfogatnak és az adalékanyag sűrűségének a szorzata. A homokos kavics sűrűsége jó közelítéssel $\rho_a = 2,64\ g/cm^3$, ezért mértékadó tömege:

$$m_{ao} = 2,64 \times V_{ao} \ \ kg/m^3 \qquad (14)$$



7. ábra: Homokos kavics mértékadó térfogata képlékeny konzisztenciájú betonkeverékben (m_c = 125 kg/m³)

A különböző konzisztenciájú betonok szükséges víztartalmának alapértékét az adalékanyag (14) szerinti mértékadó tömegéből, valamint a (11) szerinti vízigényéből lehet kiszámítani:

$$m_{wo} = m_{ao} \times (w_a / 100) \qquad (15)$$

PÉLDA:

A rendelkezésre álló homokos kavics finomsági modulusa: $m = 6{,}1$, egyenlőtlenségi tényezője: $U = 33$, agyag-iszap tartalma: $f = 5$ *térfogat %*.

Kérdés: mi a *K* konzisztenciájú beton szükséges víztartalmának alapértéke?

Az adalékanyag alapvízigénye a (9) képletből:

$$w_{ao} = 23{,}6 \times e^{-0{,}18 \times 6{,}1} = 7{,}87\ \%$$

Az $5 > 3$ térf.% agyag-iszap tartalom miatti vízigény a (11) képletből:

$$w_a = 7{,}87 + (5\text{-}3) \times 0{,}25 = 8{,}37\ \%$$

Az adalékanyag mértékadó térfogata a (12) képletből:

$$V_{ao} = 650 + 22 \times \{lg\ (35 - 0{,}5) \times [64 : (16 + [6{,}1 - 7]^2)\} = 779\ liter/m^3$$

Az adalékanyag mértékadó tömege a (14) képletből:

$$m_{ao} = 2{,}64 \times 779 = 2057\ kg/m^3$$

A beton szükséges víztartalmának alapértéke a (15) képletből:

$$m_{wo} = 2057 \times 0{,}0787 = 162\ kg/m^3$$

2.3. Az adalékszer

Az adalékszerek olyan folyadék- vagy poralakú vegyszerek, amelyeket a cement tömegére vonatkoztatott néhány százalék, vagy néhány ezrelék mennyiségben kell a friss betonkeverékhez hozzákeverni annak érdekében, hogy a friss betonkeverék, a bedolgozott friss beton, a szilárduló vagy a megszilárdult beton valamely tulajdonságát megjavítsák.

Az adalékszereknek minden esetben kedvező a főhatása, ennek kifejtése érdekében adagoljuk (pl. szilárdulás gyorsítása). Másodlagos- vagy mellékhatásuk betontechnológiai szempontból lehet kedvező vagy kedvezőtlen: pl. egyes képlékenyítő szerek mellékhatása a kötéskésleltetés, ez kedvező nagy tömegű betonszerkezetek készítésekor (kisebb a hőfejlődés), de kedvezőtlen lehet a hideg időben bedolgozott betonra. Járulékos hatásnak nevezzük az adalékszer alkalmazásával járó elkerülhetetlen hátrányos hatást, amelyre a beton összetételének tervezésekor és a beton készítésekor számítani kell (pl. a légpórusképző adalékszer csökkenti a beton szilárdságát).

A gyártó szavatolja az adalékszer főhatását és a minőségi bizonylatban tájékoztatnia kell a felhasználót a mellékhatásokról és a járulékos hatásokról. Az adalékszerek lehetnek kettős főhatásúak (pl. a képlékenyítő és szilárdulásgyorsító adalékszerek), továbbá kloridmentesek vagy kloridtartalmúak. Az adalékszer akkor kloridmentes, ha

- a halogén elemek mennyisége (a fluort kivéve) az adalékszer klorid-ion egyenértékében számítva vasalatlan és vasalt betonszerkezetekben legfeljebb 0,2 tömeg %, feszített vasbeton szerkezetekben legfeljebb 0,1 tömeg % és
- az adalékszer megengedett legnagyobb adagjának a kétszeresével számolva a betonban legfeljebb 0,002 tömeg % klorid-ion kerül a cementre számítva, azaz legfeljebb 2 g Cl^-/100 kg cement.

Kloridtartalmú az adalékszer, ha a fenti feltételeket nem elégíti ki. Ezeket csak korlátozott mértékben szabad felhasználni (lásd 2.3.3. fejezet).

Az adalékszereket főhatásuk szerint csoportosítjuk. A hatást mindenkor az adalékszer nélkül készített beton (etalonbeton, vasbeton) tulajdonságaihoz viszonyítjuk.

2.3.1. Képlékenyítő és folyósító adalékszerek

A képlékenyítő adalékszerek (csoportjelük: *P*) és a folyósító adalékszerek (csoportjelük: *F*) javítják a beton bedolgozhatóságát változatlan betonösszetétel mellett (konzisztenciajavítók), vagy lehetővé teszik a vízadagolás csökkentését anélkül, hogy a beton eredeti konzisztenciája megváltoznék (vízcsökkentők).

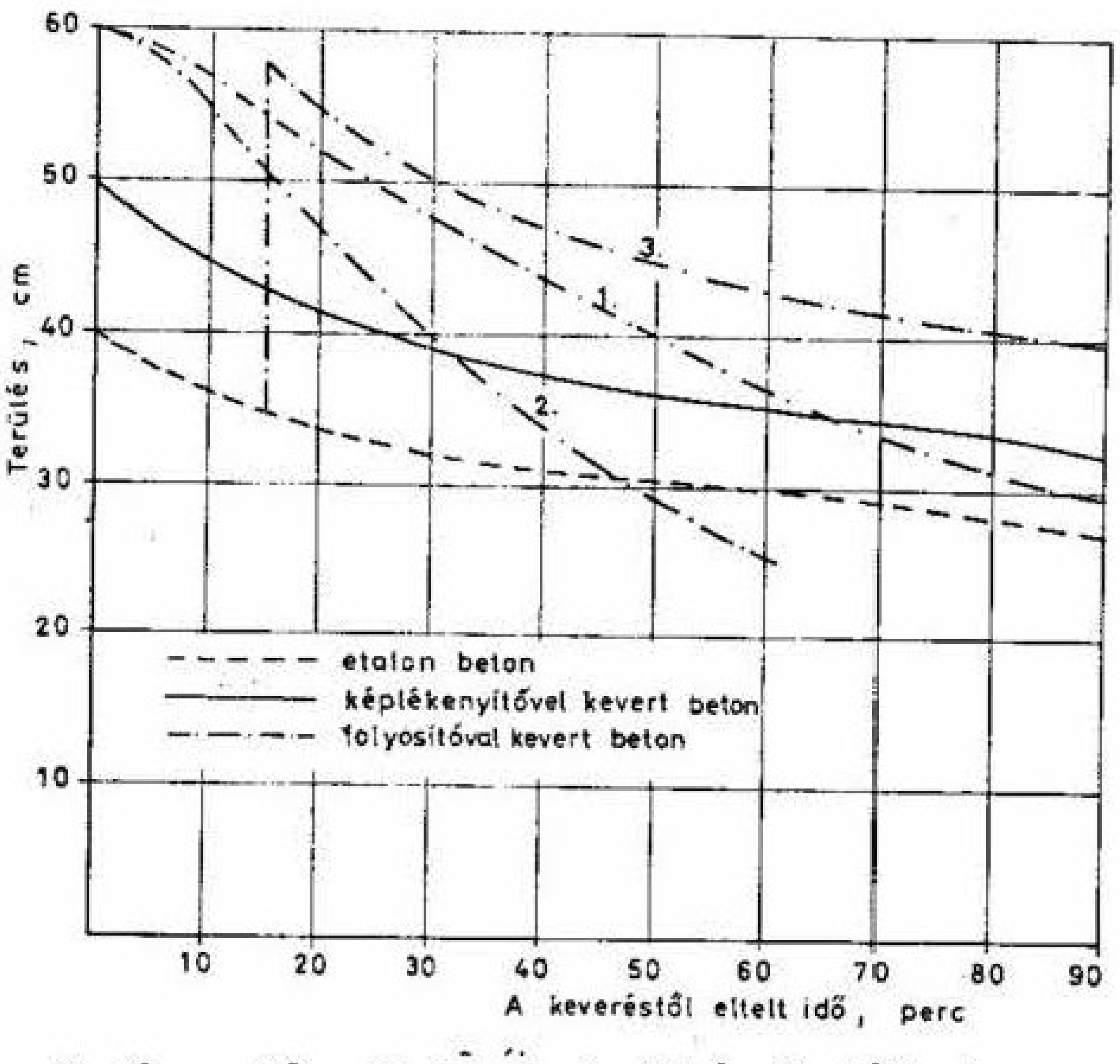
A konzisztenciajavítók a beton tömörségének a fokozása, a vízcsökkentők a víz/cement tényező mérséklése révén javítják a szilárdságot, illetve utóbbiak változatlan szilárdság és konzisztencia mellett lehetővé teszik a cementtartalom csökkentését.

A betonkeverék konzisztenciáját a képlékenyítők általában egy, a folyósítók általában két konzisztencia osztállyal javítják: a 36-42 cm terülésű, kissé képlékeny betonkeveréket a képlékenyítők 43-50 cm, a folyósítók 51-60 cm terülésűvé alakítják át.

A képlékenyítő adalékszerek konzisztencia javító hatása hosszabb ideig marad meg, mint a folyósító adalékszereké, ahogyan erről a 8. ábra tájékoztat. Ezért a transzportbetonokhoz a folyósító adalékszert csak a fogadó építéshelyen szabad hozzákeverni.

A 8. ábrával kapcsolatban azt is meg kell jegyezni, hogy az adatok legalább 1 m^3 betontérfogat mellett érvényesek, mert a kisebb térfogatú beton kiszáradása s ezzel együtt konzisztencia-romlása intenzívebb, továbbá a cementfajta és a cementtartalom hatása sem elhanyagolható.

A képlékenyítő és a folyósító adalékszerek mellékhatása általában a kötéskésleltetés, járulékos hatása pedig a zsugorodás némi növekedése lehet.

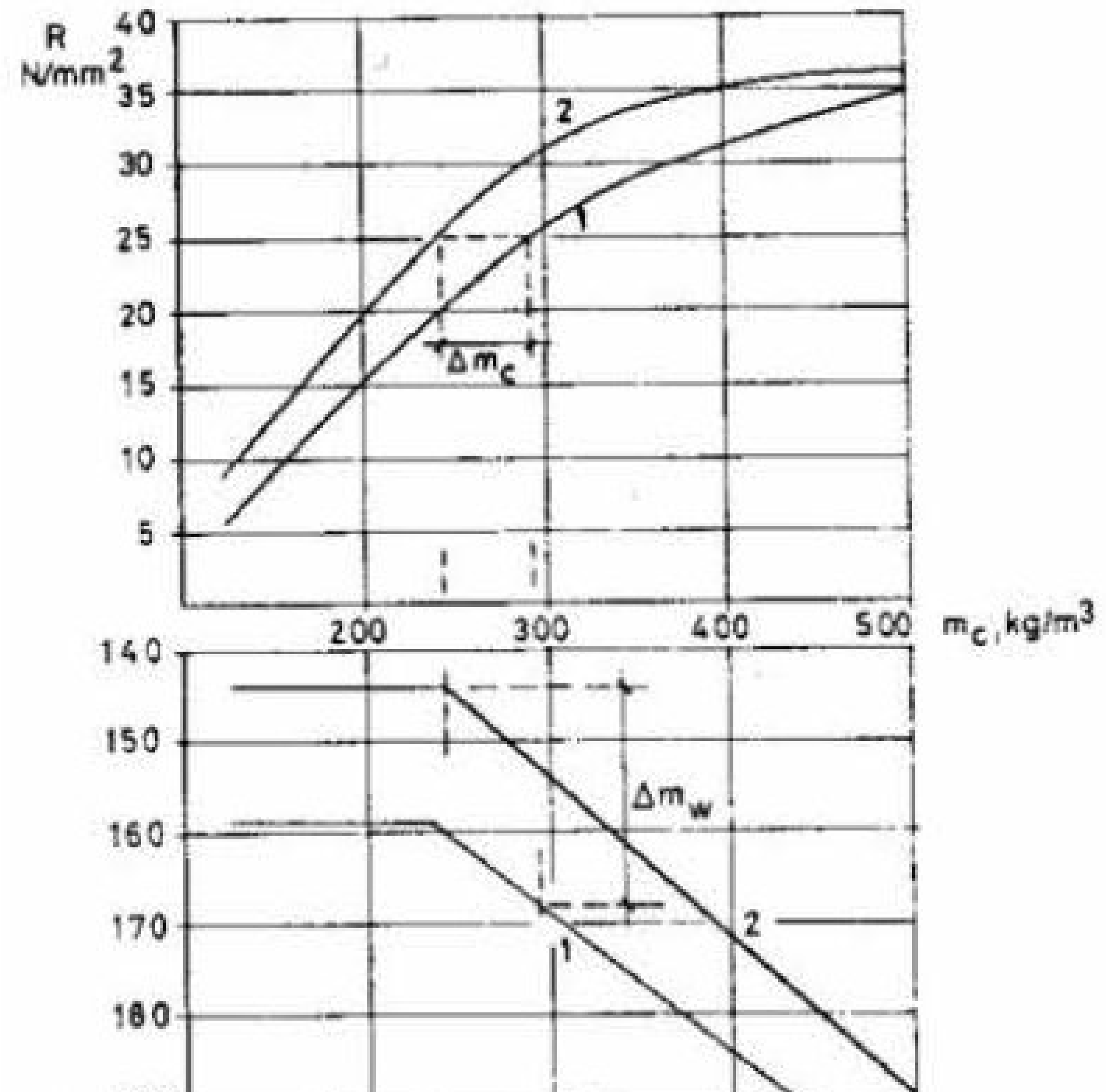


8. ábra: A konzisztencia-javító hatás időtartama

1. keverés után nyugalomban hagyott beton
2. a folyósító adalékszert 15 perc múlva keverték a betonba, majd nyugalomban hagyták a keveréket
3. folyamatosan kevert beton

Ha egy üzem korábban adalékszer nélkül készítette a betonkeverékeit és be kívánja vezetni a képlékenyítő vagy a folyósító adalékszer felhasználását, akkor célszerű néhány próbakeveréssel – lehetőleg az üzemi laboratóriumban – és az ezekből készített próbatestek vizsgálatával a 9. ábra szerinti összefüggést megszerkeszteni. Ez az ábra alkalmas a szükséges szilárdsághoz tartozó betonösszetétel meghatározására: a Δm_w a vízadagolásban elérhető megtakarítás változatlan konzisztencia és szilárdság mellett.

A gyári előírásokban megadott adagolási határokat be kell tartani, mert az ettől eltérő adagolás csökkentheti a szilárdságot és növelheti a zsugorodást.

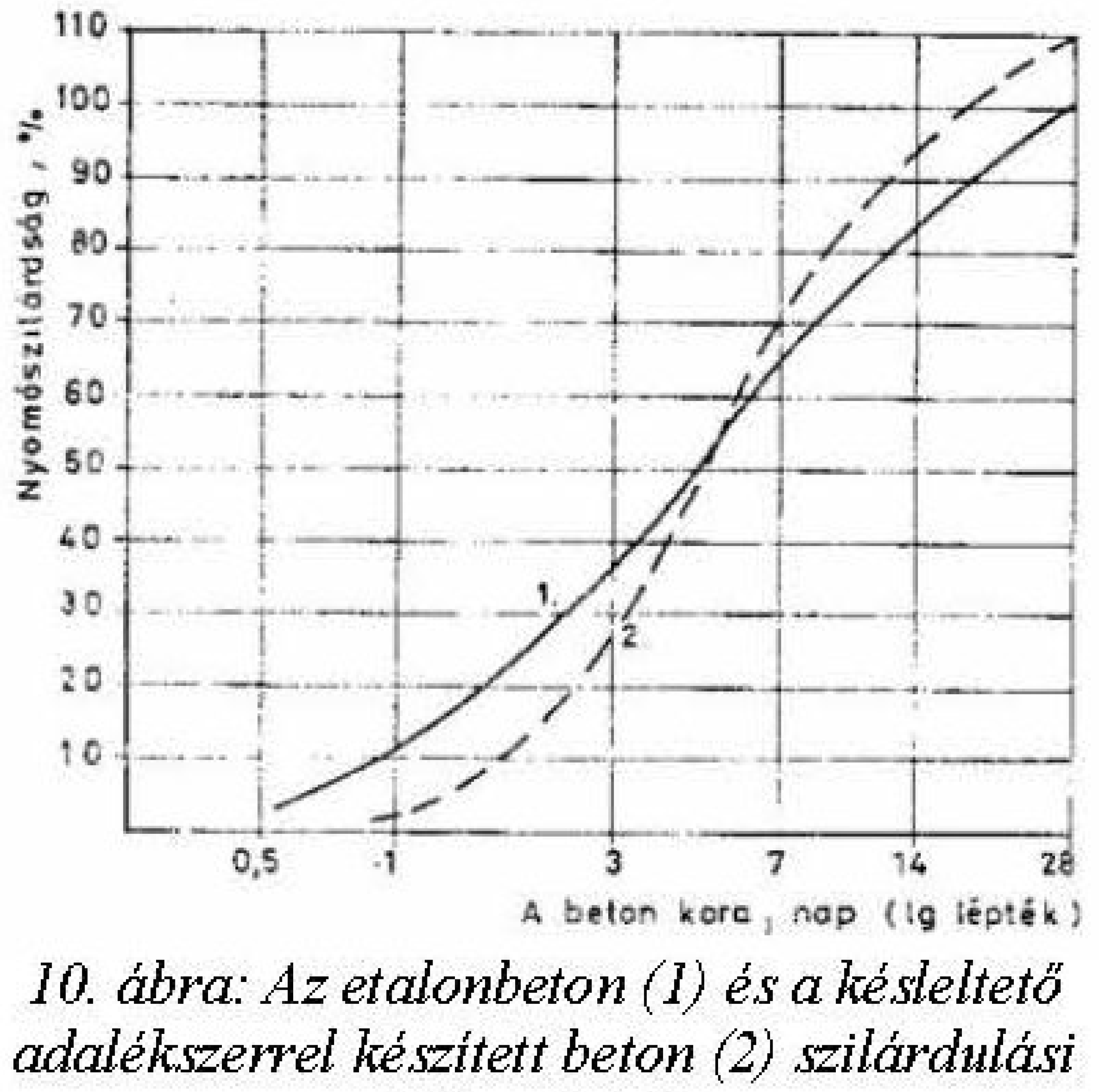


9. ábra: Képlékenyítő adalékszer összehasonlító vizsgálata (350ppc10, D=16 mm, m=6)

1. képléken beton adalékszer nélkül
2. képlékeny beton képlékenyítő adalékszerrel

2.3.2. Késleltető adalékszer

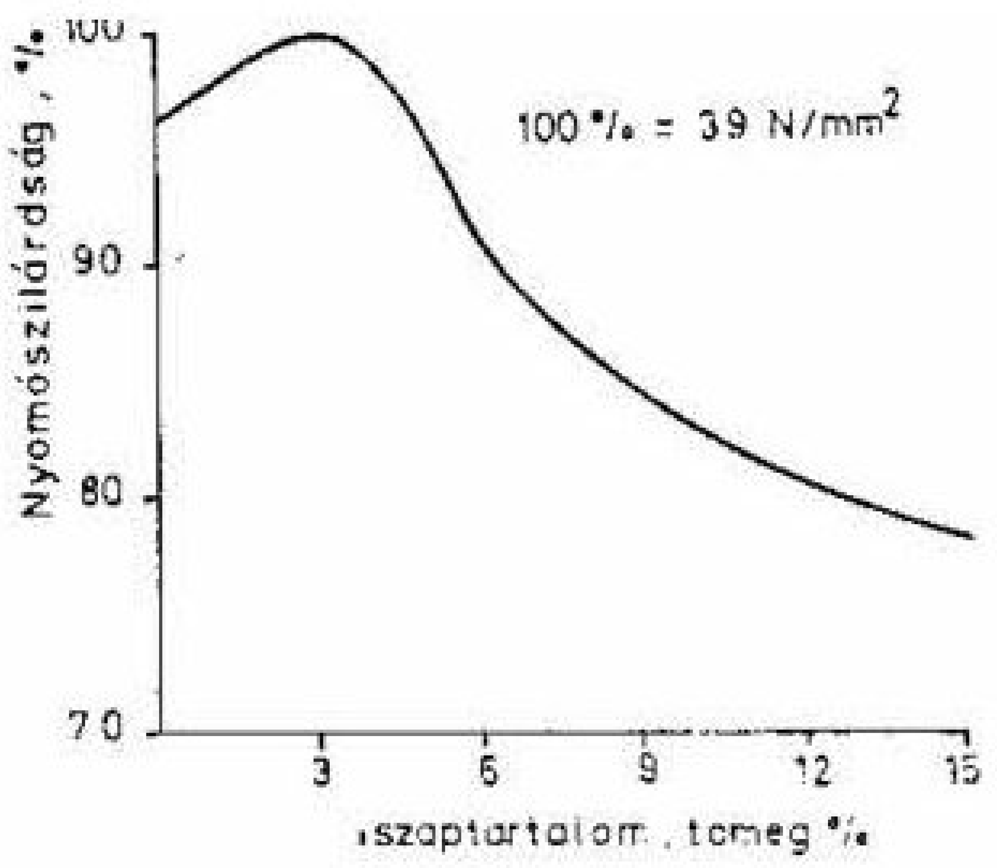
A késleltető adalékszerek (csoportjelük: *K*) a betonkeverék kötését, továbbá a korai (1-3 napos) szilárdulását késleltetik, de 7 napon túl a szilárdság általában meghaladja az etalonbeton szi-lárdságát. A jelleggörbe a 10. ábrán látható.



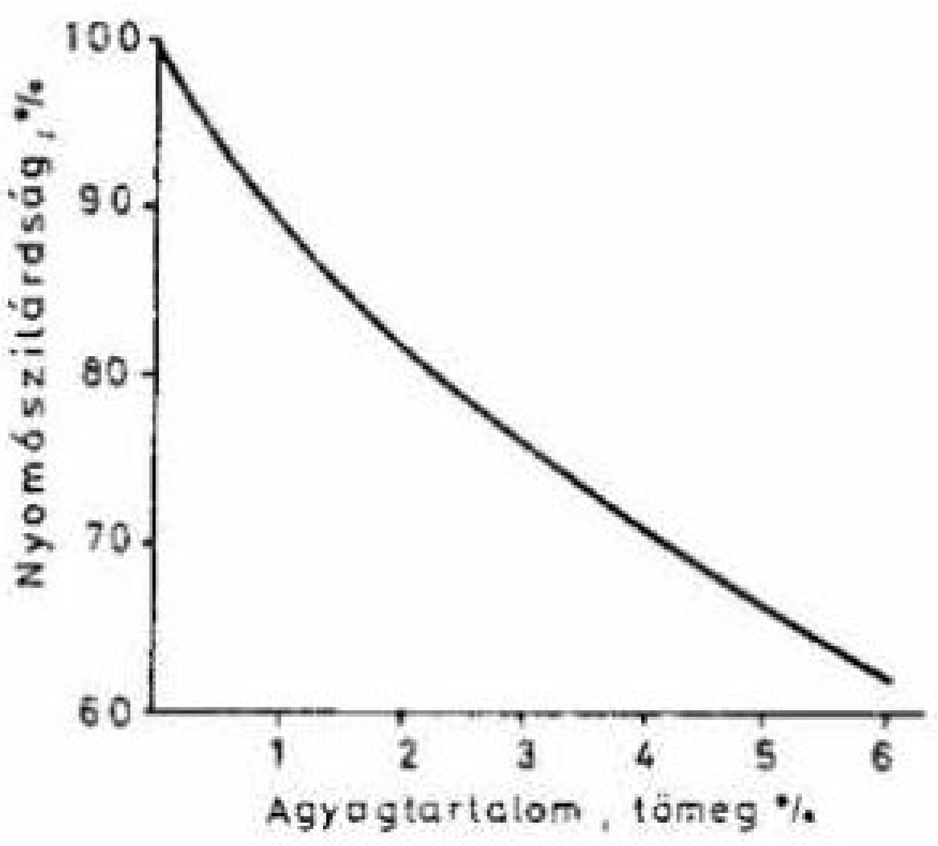
10. ábra: Az etalonbeton (1) és a késleltető adalékszerrel készített beton (2) szilárdulási jelleggörbéje

_Késleltető adalékszerek javítják a beton eltarthatóságát, a keverék hosszabb ideig mozgékony marad, ezért az egymásra kerülő betonrétegek átvibrálhatók. Ha a kötés késleltetése 18-20 órát elér, akkor lehetővé válik a bedolgozott beton utóvibrálása, s ennek eredményeképpen a beton ülepedéséből (vérzéséből) keletkezett hajszálrepedések megszüntethetők, a beton tömörsége és vízzárósága ezáltal javítható. A kötés késleltetése a cement fajtájától, a cementtartalomtól és a konzisztenciától egyaránt függ: képlékeny konzisztenciájú, 300 kg/m^3 cementtartalmú betonra mutat példát a 11. ábra. A késleltető adalékszerrel készített transzportbeton szállítási időtartama is meghosszabbítható.

A beton tulajdonságait az adalékanyag agyag-iszap tartalma ugyancsak befolyásolja (agyag a *d* < 2 *μm*, iszap a *d* = 2 – 20 *μm* átmérőjű szemcse). E kétféle finom anyag hatása a beton szilárdságára eltérő; a BME Építőanyagok tanszékének a vizsgálatai szerint az iszap kisebb mennyiségben növelheti a beton nyomószilárdságát a 17. ábrának megfelelően, míg az agyagtartalom már 1 tömeg % mellett is szilárdságcsökkenést okozhat, ahogyan ez a 18. ábrán látható.



17. ábra: Az iszap hatása a beton nyomószilárdságára



18. ábra: Az agyag hatása a beton nyomószilárdságára

A finoman elosztott agyag és iszap szennyeződés az adalékanyag vízigényét növeli a (11) képletnek megfelelően, részben az okozza a csekélyebb szilárdságot. Különösen káros a homok- és a kavics-szemekre tapadt agyag- és iszapréteg, mert megakadályozza a cementkő és az adalékanyag kellő tapadását, együttdolgozását.

3.3.4. A tömörítés

A tömörítés hatásáról az MI 2.3.4. fejezete tájékoztat. A beton összetételét és konzisztenciáját azért kell a rendelkezésre áll tömörítő eszközhöz illeszteni, mert ennek elmulasztása vagy a bedolgozott friss beton levegőtartalmára hat kedvezőtlenül a 3.2.2. fejezet szerint (ha a betonkeverék a szükségesnél szárazabb), vagy tömörítés közben a beton szétosztályozódhat, a cementpép a szerkezet alsó rétegeiben feldúsul, a felső rétegek kavicsfészkessé válnak (ha a betonkeverék a szükségesnél nedvesebb). Mindkét jelenség rontja a beton tulajdonságait; az első a beton átlagos nyomószilárdságát, a második a szilárdság egyenletességét és a beágyazott acélbetétek korrózióvédelmét.

Földnedves betont a helyszínen általában csak lemezszerű szerkezetbe lehet levegőmentesen bedolgozni vibrodöngöléssel, vibrohengerrel, vagy előregyártó üzemben vibropreseléssel, sokkolással. Ezért monolit szerkezetekhez kissé képlékenynél szárazabb betonkeveréket nem szabad készíteni, ugyanakkor a merülővibrátor a képlékenynél nedvesebb betonkeverékben már szétosztályozódást okozhat.

A beton konzisztenciája a vasalás sűrűségétől és a szerkezet keresztmetszeti méreteitől, valamint alakjától is függ: sűrűn vasalt szerkezetekhez általában nem használható képlékenynél szárazabb betonkeverék.

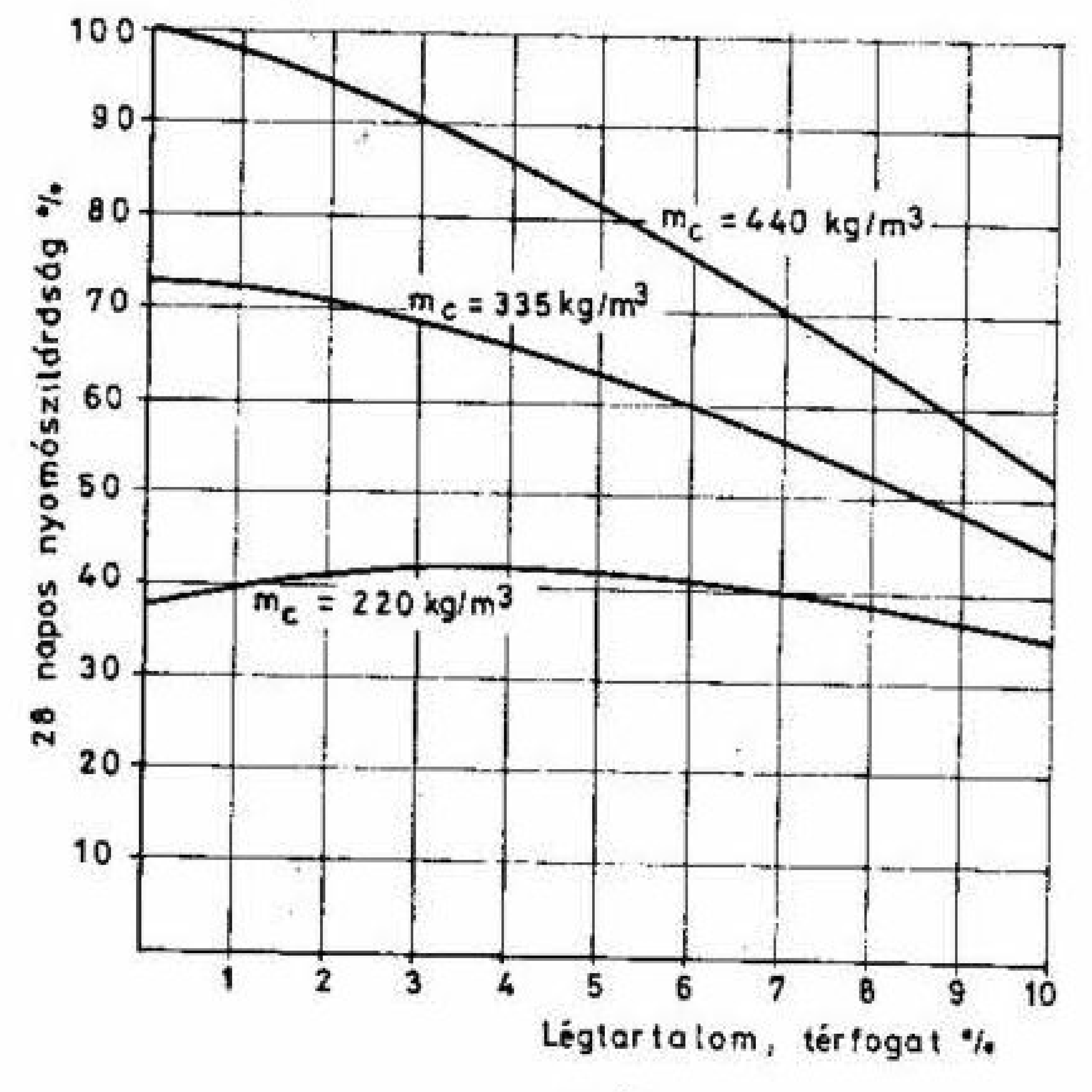
A betonozási munka megkezdése előtt éppen ezért szükséges a próbakeveréssel együtt a szerkezet modelljét is elkészíteni mintegy 1 m^2 felületű zsaluzattal és abban próbatömörítéssel ellenőrizni a tömörítőeszköz alkalmasságát: meg kell mérni a beton testsűrűségét, ki kell számítani levegőtartalmát és szemrevételezéssel meg kell állapítani, keletkeztek-e kavicsfészkek a betonban, van-e szétosztályozódás.

Ha a próbatömörítés eredménye szerint a képlékeny vagy folyós konzisztenciájú betonkeverék víztartóképessége csekély, a víz egy része elfolyik, akkor nem a cementtartalom növelésével, hanem az adalékanyag finomrész tartalmának az 5. táblázat szerinti beállításával kell ezt a hibát kiküszöbölni.

3.3.5. A módosított víz/cement tényező

AZ elmúlt évtizedek ipari tapasztalatai, valamint a hazai és a külföldi laboratóriumi kutatásai tisztázták, hogy az alábbi tényezők önmagukban és egymással kölcsönhatásban határozzák meg a beton tulajdonságait, mindenek előtt a nyomószilárdságát:

a) A cement kötőereje (tényleges szilárdsága) és vízérzékenysége.
b) A cement mennyisége tömegben vagy a cementpép mennyisége térfogatban.
c) Az adalékanyag szemcséinek (legnagyobb szemnagyság és szemalak), valamint halmazának (finomsági modulus, egyenlőtlenségi tényező, mértékadó térfogat, illetve pépigény) jellemzői.
d) Az adalékanyag mennyisége (tömegben vagy térfogatban).
e) A víz mennyisége, elsősorban a cement mennyiségéhez viszonyítva (víz/cement tényező).
f) Az alkotóanyagok adagolásának a pontossága.
g) A keverés módja és ideje (a betonkeverék homogenitása).
h) A friss betonkeverék tulajdonságai (konzisztencia, mozgékonyság, bedolgozhatóság, vízmegtartó-képesség, szétosztályozódási hajlam).
i) A betonkeverék szállításának módja és időtartama (szegregálódás, merevedés).
j) A tömörítés módja és hatékonysága (tömörség, levegőtartalom).
k) A beton és a zsaluzat kölcsönhatása (pl. a zsaluzat anyagának a vízelszívó képessége).
l) Az utókezelés módja és időtartama (páratartalom, hőmérséklet).



12. ábra: A beton légtartalmának és nyomószilárdságának összefüggése

Mind a szilárdságcsökkentő, mind a zsugorodást növelő járulékos hatás mérsékelhető, vagy meg is szüntethető képlékenyítő adalékszerrel társítva, de a légbuborékképző adalékszerek több, más vegyszerrel nem keverhetők. A társítható vegyszerfajtákat a gyári tanúsítvány tartalmazza. A légtartalom hatását a beton nyomószilárdságának a változására a 12. ábra mutatja be a cementtartalom függvényében, amerikai (USA) vizsgálatok alapján.

2.3.5. Tömítő adalékszerek

A tömítők (csoportjelük: *T*) fokozzák a beton vízzáróságát vagy azáltal, hogy tömítik a megszilárdult beton kapilláris pórusait, vagy azáltal, hogy víztaszítóvá teszik a kapillárisok és légzárványok belső felületeit, vagy mindkét hatást egyesítik. A vízzáróságot a képlékenyítő és a folyósító adalékszerek is fokozzák, ha vízcsökkentő tulajdonságukat hasznosítva kevesebb keverővizet adagolnak, mert ezzel is csökkenthető a kapilláris porozitás.

Mellékhatásként egyes szerek légbuborékot képezhetnek, járulékos hatásként ugyancsak egyes szerek (típusok) növelhetik a zsugorodást és csökkenthetik a szilárdságot. A tömítő adalékszerek hatékonyságába vetett hitet az utóbbi évtizedek hazai és külföldi vizsgálati eredményei megingatták, mert azt állapították meg, hogy bizonyos körülmények között a tömítő vegyületek a betonból kioldódhatnak s csak akkor eredményes alkalmazásuk, ha a beton víztartalma az etalonhoz képest csökkenthető. Ezért elsősorban a kettős főhatású tömítő és képlékenyítő adalékszereket célszerű felhasználni, vagy a tömítőszert a vele összeférhető képlékenyítővel együtt adagolni. Általában kimondható, hogy a betontechnológiai tényezők (adalékanyag szemmegoszlása és finom kőliszt tartalma, a beton cementtartalma, víz/cement tényezője és péptelítettsége, a tömörítés és az utókezelés) hatása a vízzáróság szempontjából legalább akkora – ha nem nagyobb – , mint a tömítőszereké.

2.3.6. Fagyásgátló adalékszerek

A fagyásgátló adalékszerek (kloridtartalmú szerek csoportjele: *CF-Cl*; kloridmentes szerek csoportjele: *FC-0*) téli időszakban, kb. –10 °C levegőhőmérsékletig lehetővé teszik a betonozást azáltal, hogy a víz fagypontját csökkentik és növelik a cement hőfejlesztését. Ennek eredményeképpen a beton hamarabb eléri azt a minimális szilárdságot, amely elegendő a további fagyhatások elviseléséhez. A fagyásgátlók azonban csak akkor hatásosak, ha a minőségi tanúsítványban megadott időtartamon át az előírt hőfokon tartjuk a betont.

A fagyásgátlóknak nincs szilárdulásgyorsító mellékhatásuk, bár egyes szilárdulásgyorsítók fagyásgátlóként is alkalmazhatók. Járulékos hatásként általában növelik a beton zsugorodását, a kloridtartalmúak fokozzák az acélbetétek rozsdásodását, és egyes fagyásgátlók fékezik a beton későbbi szilárdulását.

A téli betonozáshoz nem elegendő önmagában a fagyásgátló adalékszer, hanem alkalmazásával együtt csökkenteni kell a beton víztartalmát, gyorsítani a szilárdulást, melegíteni a keverővizet és az adalékanyagot stb., mint ahogy erről az MI 20. fejezete intézkedik.

3. A BETON

3.1. A betonok fajtái és jelölésük

A betonok fajtáit és csoportosítását, valamint jelölésüket az MSZ 4719 írja elő és az MI 2.1. fejezete értelmezi. A korábbi gyakorlathoz képest legjobban a betonok nyomószilárdság szerinti jelölése, a nyomószilárdság értelmezése változott meg az új méretezési elvekhez kapcsolódva. Célszerű tehát a méretezés fejlődését röviden áttekinteni.

A tartószerkezeteknek kellő teherbírásúaknak kell lenniük, ezért azokat statikailag méretezni kell, továbbá meg kell vizsgálni az elkészült szerkezeteket, hogy azok megfelelnek-e a tervező által előírt követelményeknek. A méretezés és a minőségvizsgálat tehát egymástól függő, egymást kiegészítő és feltételező tevékenység. A statikai számítás csak a XIX. században alakult ki és az első méretezési eljárás a megengedett feszültségeken alapult: a terhekből számított feszültségek nem lehetnek nagyobbak, mint az anyagra megengedett σ_e feszültség. A szerkezetek biztonságát úgy érték el, hogy a megengedett feszültség az anyag *R* törőszilárdságának csak kis hányada volt:

$$\sigma_e = R / n \qquad (16)$$

ahol n = az egységes biztonsági tényező, értéke 1,8-3,5 között változott.

A szerkezetek törési teherbírásának nagyszámú vizsgálata alapján alakult ki a következő méretezési eljárás: a törési biztonság módszere. Ez azt a követelményt fogalmazta meg, hogy a terhelésből számítható Y igénybevételek ne haladják meg a szerkezet Y_t törőigénybevételét. A tervezési módszer tehát lényegében az anyagról a szerkezetre lépett át, de a szerkezet Y_t törőigénybevételének a mértékét az anyag szilárdsága (átlagos nyomószilárdsága) határozta meg. A szerkezet biztonságát úgy érték el, hogy a terheket különböző biztonsági tényezőkkel szorozták meg, mégpedig az állandó terheket kisebb, a változó terheket nagyobb biztonsági tényezőkkel. Az egységes biztonsági tényezők helyett tehát ún. osztott biztonsági tényezőket alkalmaztak.

A szerkezetekkel szemben támasztható követelmények további, egyre korszerűbb vizsgálatának eredményeként fejlődött ki a határállapotok módszere. Ez lényegében azon a felismerésen alapult, hogy a szerkezetek tönkremenetele nagyon sok tényezőtől függ s ezért a méretezés egyetlen követelmény, mégpedig a terhelés okozta feszültség figyelmbevételével aligha vezethet pontos eredményre. Meg kell tehát vizsgálni a szerkezet viselkedését a terhek hatására, mint pl. a keletkező nyomó- és húzófeszültségeket, a repedéstágasságot, a lehajlást, a rideg törést stb., és azt kell megállapitani, hogy mi az a határállapot, amely a szerkezet tönkremenetelét okozza, továbbá azt, hogy a szerkezetre ható terhek következtében mi a mértékadó állapot. A mértékadó állapot (tényleges lehajlás, feszültség, repedés stb.) nem lehet kedvezőtlenebb, mint a határállapot.

A felsorolt méretezési eljárások bármelyikével tervezett beton és vasbeton szerkezet minőségének az ellenőrzésekor elegendő volt a beton átlagos nyomószilárdságát megvizsgálni, mert a tervező a megengedett feszültséget, a törőigénybevételt, vagy a mértékadó állapotot egyaránt a beton átlagos nyomószilárdságából kiindulva határozta meg. Ezt tükrözi valamennyi minőségellenőrzési eljárás, így az MSZ 4720-58 is, amely 1978 évig, illetve az MSZ 4719-72, amely 1983 évig volt érvényben. Utóbbi szabvány a betonokat 20 cm-es kockára vonatkoztatva átlagos nyomószilárdságuk alapján jelölte meg a következőképpen:

magasépítés:	B10, B20, B30, B40 B50 B70, B100, B140, B200, B280,B400 és B560,
útépítés:	a fentieken kívül még B450,
fővasúti létesítmények:	a fentieken kívül még B220, B300 és B500.

Általában 100 m^3-enként kellett egy keverésből 3 db 20 cm élhosszúságú próbakockát készíteni, 28 napos korban a nyomószilárdságukat megvizsgálni és a beton akkor felelt meg a követelményeknek, ha az átlagos nyomószilárdság elérte vagy meghaladta a betonjel szerinti, kp/cm^2-ben kifejezett értéket.

Az utóbbi néhány évtizedben új, a valószínűség elméleten alapuló méretezési módszer alakult ki, amely a korábbiaktól lényegesen eltér, mert a tönkremenetelt nem a biztonsági tényezővel, vagy tényezőkkel jellemzi, hanem a tönkremenetel előfordulásának a valószínűségével és ebből állapítja meg a még elviselhető kockázatot. A tönkremenetel esélyeit, lehetőségeit a tervezés ugyanis nem képes tökéletesen kiküszöbölni (pl. a földrengés következményeit), csak csökkenteni, ezért a tervezés során azt kell mérlegelni, hogy miképpen lehet

- a szerkezet építési költségének,
- a szerkezet karbantartási költségének, valamint
- a szerkezet építése és üzemeltetése alatt előfordulható anyagi károk és személyi sérülések költségeinek

a végösszegét minimálisra korlátozni. Az elegendő biztonságot ezért tulajdonképpen az összes, komplex költségek minimumával lehet definiálni.

Ez a szemlélet az ipari termékek sorozatgyártásában már több évtizede érvényre jutott, az építésben azonban csak az utóbbi 1-2 évtizedben nyert polgárjogot. Ennek a késői reagálásnak több oka van.

Felgyorsult például az épületek erkölcsi, funkcionális öregedése s emiatt nem lehet mindig kihasználni a tartóssági tartalékokat, ugyanakkor a korábbiaknál fontosabbak lettek a gazdasági elemzések. Az okok között nem elhanyagolható az a szubjektív idegenkedés sem, amely nagyon lefékezte az emberi élet kockáztatásával kapcsolatos gazdasági elemzéseket, ha épületről van szó. Ugyanakkor pl. a közlekedési balesetekkel szembeni biztonság anyagi kérdéseinek elemzésében már régebben is foglalkoztak az emberélet anyagi értékének mérlegelésével, hiszen gazdasági okok miatt megoldhatatlan a teljesen balesetmentes közlekedéshez szükséges úthálózat és biztonsági berendezések létesítése.

Mindezek az elemzések csak a valószínűségi elmélet segítségével hajthatók végre: lényegében azt kell megvizsgálni, hogy milyen feltételek mellett lesz csak kicsiny a valószínűsége a határállapotok létrejöttének, azaz a terhelések felső szélsőértékei és a szerkezeti ellenállások (pl. a betonszilárdság) alsó szélsőértékei egyidejű előfordulásának. Ezek a valószínűségi vizsgálatok vezettek el a mértékadó terhelési határértékek és az ellenállási határértékek összehasonlításához különböző határállapotok mellett.

Ez az új méretezési szabvány alapvető sajátossága.

A szerkezet anyagának a minősítését, a beton nyomószilárdságának a minősítő vizsgálatát is ezekhez az új méretezési elvekhez kellett illeszteni, erre pedig a matematikai statisztikai minősítés ad lehetőséget. Meg kellett állapítani, milyen mértékű lehet annak a valószínűsége, hogy a különféle határállapotok melletti mértékadó terhelési értékek elérjék az anyag valamely valószínűségi szintjéhez tartozó szilárdságát, és azt is vizsgálni kellett, hogy miképpen egyesíthető az átadó (a kivitelező) és az átvevő (a beruházó, illetve a tervező) kockázata. E vizsgálatok eredményeként az egyforma kockázatból és a kielégítő biztonságból kiindulva a beton 5 % való-

színűségi szinthez tartozó szilárdságát fogadták le mértékadónak. Ez az ún. *minősítési szilárdság* (jele: R_k, N/mm^2).

Az 1984 évben hatályba lépett MSZ 4719 a beton jelében az 5 % alulmaradási valószínűséghez tartozó $R_{k,nom}$ minősítési szilárdság N/mm^2-ben kifejezett értékét adja meg. Ebből a mértékadó szilárdság (az $R_{k,nom}$ eléréséhez szükséges átlagos nyomószilárdság):

$$R_m = R_{k,nom} + t \times k \times s \qquad (17)$$

összefüggésből számítható, ahol

t = a vizsgált próbatestek számától függő tényező (ha *n* rendre 3, 14 vagy >40, akkor *t* rendre 2,28; 1,75 vagy 1,645);

k = a beton nyomószilárdságának valószínűségi eloszlásától függő tényező (Gauss-féle normális eloszlásra k=1);

s = a nyomószilárdság négyzetes szórása, N/mm^2.

Az ÉTI vizsgálatai szerint a *k* tényező értéke függ a betonkészítő munkahely technológiai színvonalától és a beton átlagos nyomószilárdságától. Átlagos színvonalú betonkészítő üzemre a *k* tényező az alábbi kifejezésből számítható:

$$k = 0{,}547 + 0{,}1027 \times \sqrt{R_m} \qquad (18)$$

A szilárdság négyzetes szórása pedig a következő képletből határozható meg:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(R_i - R_m\right)^2}{n-1}} \qquad (19)$$

Az MSZ 4719 a beton szilárdsági jelében az ∅ 15×30 cm-es hengerpróbatestek vizsgálata esetén érvényes $R_{k,\varnothing,nom}$ értéket adja meg N/mm^2-ben kifejezve a következőképpen:

C4, C6, C8, C10, C12, C16, C20, C25, C30, C35, C40, C45, C50 és *C55*

A betonokat azonban nemcsak henger-, hanem 15 cm vagy 20 cm élhosszúságú kockapróbatestekkel is szabad vizsgálni. Ha utóbbiakkal vizsgálunk, akkor azt tapasztaljuk, hogy ugyanaz a betonkeverék 15 cm-es kockán adja a legnagyobb, 20 cm-es kockán a közepes és ∅ 15×30 cm-es hengeren a legkisebb szilárdsági eredményt a szokványos és szabványos vizsgálati feltételek mellett, ugyanazon az anyagvizsgáló törőgépen. Ennek megfelelően kocka alakú próbatesteken a minősítési szilárdság előírt értéke is nagyobb, mint henger alakúakon, az 1.táblázat szerint.

Az 1984 előtti *B* jelű betonoknak az 1984. január 1.-én hatályba lépett MSZ 4719 szerinti *C* jelű betonok közelítőleg a 2. táblázat szerint felelnek meg. Meg kell jegyezni, hogy pontos egyezés csak a *B560* és a *C40* jelű betonok között van, a többi *C* jelű beton kismértékben nagyobb szilárdságú, mint amilyen szilárdságot a régi szabvány szerint a *B* jelű betonokkal kellett elérni.

1.táblázat: A minősítési szilárdság előírt értékei az MSZ 4719 szerint különböző alakú és méretű próbatestekre. A minősítési szilárdságok jele: ∅ 15×30 cm-es hengerre: $R_{k,\varnothing,nom}$; 20 cm-es kockára: $R_{k,20,nom}$ és 15 cm-es kockára: $R_{k,15,nom}$

A beton jele	$R_{k,\varnothing,nom}$	$R_{k,20,nom}$	$R_{k,15,nom}$
	N/mm^2		
C4	4	4,8	5
C6	6	7	7,5
C8	8	9	10
C10	10	12	12,5
C12	12	14	15
C16	16	19	20
C20	20	23,8	25
C25	25	28	30
C30	30	33	35
C35	35	38	40
C40	40	43	45
C45	45	48	50
C50	50	52	55
C55	55	57	60

2. táblázat : A régi B és az új C jelű betonok közelítő megfelelése

B50	B70	B100	B140	B200	B280	B400	B560
-	C6	C8	C10	C14	C20	C30	C40

3.2. A beton legfontosabb jellemzői

A friss, megkevert betont a bedolgozás előtt betonkeveréknek, közvetlenül a bedolgozás után, a tömörítés befejeztekor bedolgozott friss betonnak, ezt követően megszilárdult betonnak nevezzük.

A beton legfontosabb tulajdonságait ennek a csoportosításnak megfelelően célszerű tárgyalni.

3.2.1. A betonkeverék legfontosabb jellemzői

A betonkeverék legfontosabb jellemzői a keverési arány, a konzisztencia és a keverékeltarthatósága. Ezeket a jellemzőket az MI 2.2.1. fejezete ismerteti. Ez a Jegyzet csak a konzisztenciára tér ki.

A betonkeverék betontechnológiai szempontból akkor megfelelő, ha

- az alkotóanyagokból elfogadható keverési időn belül (általában legfeljebb 3 perc) lehet homogén, egyenletes, egynemű keveréket előállítani,
- a bedolgozási helyre való szállítás közben nincs vérzés (vízelfolyás) vagy szegregáció (alkotóanyagok szétválása),
- a zsaluzatba helyezett beton könnyen és megfelelően tömöríthető a rendelkezésre álló tömörítő eszközökkel, eközben a keverék megőrzi a homogenitását, továbbá tökéletesen kitölti a zsaluzatot és beágyazza az acélbetéteket,
- a bedolgozott beton nem ülepedik (nem töpped), a betonban nem maradnak kavicsfészkek, vízleadás (vérzés) miatt nem keletkeznek üregek.

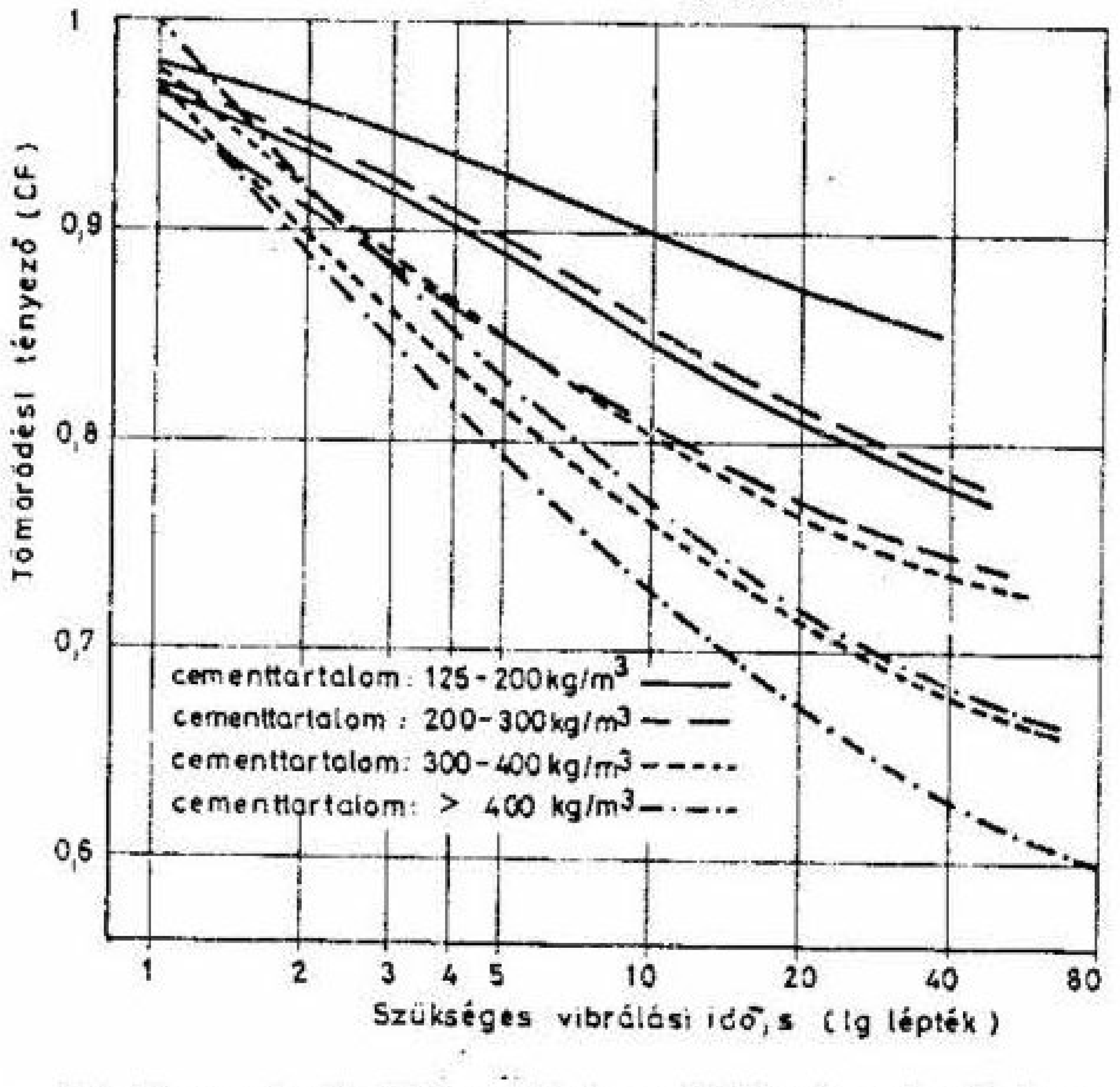
Ha a betonkeverék mindezeket a feltételeket kielégíti, akkor azt *jól bedolgozhatónak* nevezzük. A bedolgozhatóság azonban a szerkezettől is függ: ugyanaz a betonkeverék jól bedolgozható lehet nagytömegű, vasalatlan, de esetleg rosszul bedolgozható karcsú, sűrűn vasalt szerkezetbe. A bedolgozhatóság tehát sokféle frissbeton tulajdonság együttese, amelyet általában a betonkeverék konzisztenciájával jellemzünk. Ebből azonban két probléma származik.

Az egyik az, hogy a konzisztencia tulajdonképpen a keverék víztartalmára utal: azt jellemzi, hogy az anyag mennyire alaktartó, illetve milyen könnyen folyik. Ebből következik, hogy a bedolgozhatóság és a konzisztencia nem azonos, egymást helyettesítő fogalom, tehát a konzisztencia vizsgálatának az eredményeiből nem lehet a bedolgozhatóságot közvetlen módon, egyértelműen értékelni.

A másik probléma az, hogy a konzisztencia vizsgálatának világszerte használt eszközei nem ugyanazt a tulajdonságot mérik s így kétféle eljárással végzett konzisztencia vizsgálat eredményei általában nehezen vethetők össze.

A fenti problémák miatt írja elő az MI, hogy egy adott munkahelyen mindig ugyanazt a konzisztencia vizsgáló eljárást kell használni a próbakeverés és a folyamatos betonkészítés ellenőrzésére. A különböző konzisztencia mérő eszközöket az MSZ 4714/3 szabályozza, de ezek a keverékeknek a bedolgozhatóság szempontjából fontos más-más jellemzőjét mérik.

Az egyik legegyszerűbb vizsgálat a roskadás mérése, amely a beton alakváltozási képességét, a keverék mozgékonyságát mutatja ki, továbbá az összetartó képességet, mert a kevés finomrészt tartalmazó beton a vizsgálat alatt széteshet. Különösen érzékeny a keverék víztartalmának a változására. Egyszerűsége ellenére nagyon gondosan kell kezelni (a betont pontosan az előírt módon kell tömöríteni, a kúppalástot függőlegesen kell felemelni stb.). Jól használható legalább 200 kg/m^3 cementet tartalmazó, kissé képlékeny – folyós konzisztenciájú keverékek ellenőrzésére, de földnedves betonokhoz nem alkalmazható.



13.ábra: A vibrálás szükséges időtartamának és a tömörödési tényezőnek a változása a cementpép tartalomtól függően

Ugyancsak az alakváltozási képességet mutatja ki a terülés mérése, főleg vízdús keverékekre. A vizsgálat eredménye képet ad a beton kohéziójáról és víztartó képességéről is: a terülésmérő asztal ejtegetése alatt a kis kohéziójú keverék szétpereg, és vízleadás észlelhető.

A tömörödési készséget jellemzi a tömörödési tényező (CF-faktor) értéke. Hátránya, hogy ugyanolyan konzisztenciájú, de különböző cementpép tartalmú keverékek tömörödési tényezője eltérő, továbbá az, hogy a nagy belső súrlódású keverékek a tölcséres tartályba beragadhatnak, s ez bizonytalanná teheti a mérési eredményt. Nehézséget jelenthet a mérőhengerbe ömlesztett beton kellő tömörítése is, ami ugyancsak bizonytalanná teheti az értékelést. Ezért, ha a beton telített, vagy túltelített, akkor célszerű a teljes tömörséghez tartozó testsűrűséget számítással meghatározni (lásd Jegyzet, 3.2.2. fejezet). A tömörödési mérőszám cementpép tartalomtól függő változása a 13. ábrán látható.

Arra is fel kell hívni a figyelmet, hogy ha a betonkeverék konzisztenciája alig földnedves, vagy földnedves, akkor a tömörödési tényező mért értéke megegyezhet a kissé képlékeny, vagy képlékeny betonkeverék tömörödési tényezőjével, ahogyan ezt a 14. ábra mutatja.

A betonkeverék átformálódási készségét a vibrációs idővel (VEBE-meter) lehet mérni: azt állapítjuk meg, hogy egy tömörített betontest (pl. csömöszölt betonkúp) milyen vibrálási időtartam hatására terül el egy hengeres tartályban vízszintes felülettel. Elsősorban a beton tömöríthetőségét lehet ezáltal mérni, de ellenőrizni lehet a keverék víztartó képességét is. Földnedves konzisztencia vizsgálatár is jó, de nem alkalmas a habarcssze-

gény (telítetlen) betonokhoz. Hátránya, hogy csak képzett, erre a vizsgálatra begyakorlott laboráns képes megbízható mérésre.

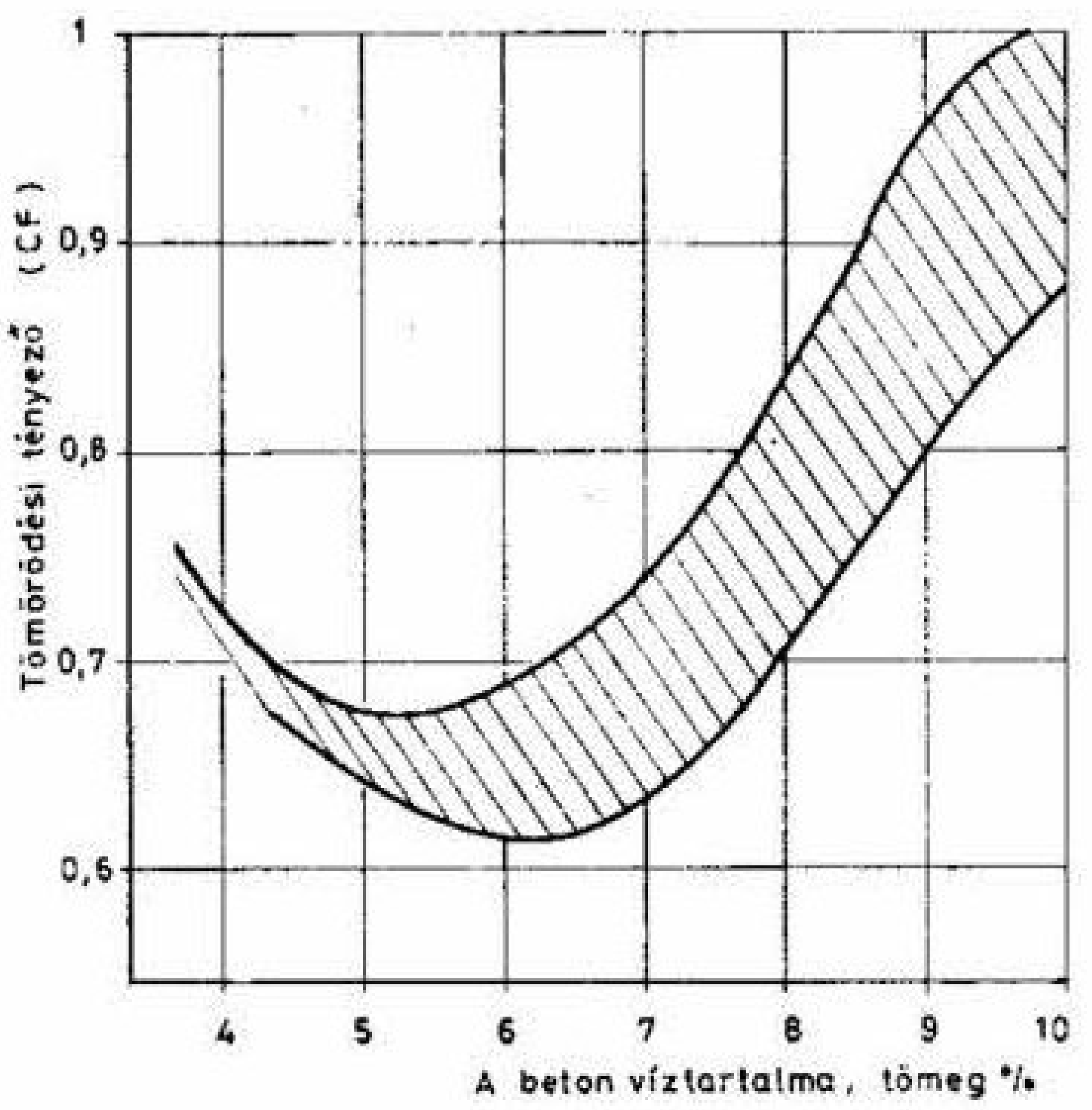
3.2.2. A bedolgozott friss beton legfontosabb jellemzői

A zsaluzatba, sablonba tömörített, végleges alakját elnyert friss beton legfontosabb jellemzői a testsűrűség, a betonösszetétel, a cementpép tartalom és a péptelítettség, valamint a levegőtartalom. Ezeket a jellemzőket az MI 2.2.2. fejezete ismerteti.

A beton összetételét a tömeg szerinti keverési arányból és a bedolgozott friss beton testsűrűségéből (γ_{fb} készítési testsűrűség, kg/m^3) lehet kiszámítani. A keverési arány a beton alkotóanyagait a kötőanyag egységnyi tömegéhez viszonyítva adja meg:

cement : víz : adalékanyag : adalékszer = c : w : a : ad

Például 1:0,5:6,0:0,01 keverési arány azt jelenti, hogy 1 tömegrész cementhez 0,5 tömegrész vizet, 6 tömegrész adalékanyagot és 0,01 tömegrész adalékszert kell hozzákeverni. Ez a keverési utasítás mindaddig állandó, amíg az alapanyagok jellemzői változatlanok. A keverési arány mindig száraz adalékanyagot tételez fel.



14. ábra: A tömörödési tényező változása a beton víztartalmától függően

Az összetétel számításához képezni kell a tömegrészek alábbi összegét:

$$M = c + w + a + ad \qquad (20)$$

Tehát az előző bekezdés szerinti keverési arány mellett $M = 1 + 0,5 + 6 + 0,01 = 7,51$. A készítési testsűrűség ismeretében az alkotóanyagok mennyisége (a betonösszetétel) a következő:

cementtartalom :	$m_c = (\gamma_{fb} / M) \times c$	kg/m^3	(21)
víztartalom:	$m_w = (\gamma_{fb} / M) \times w$	kg/m^3	(22)
adalékanyag tartalom:	$m_a = (\gamma_{fb} / M) \times a$	kg/m^3	(23)
adalékszer tartalom:	$m_{ad} = (\gamma_{fb} / M) \times ad$	kg/m^3	(24)

Ha a példa szerinti keverési arányú betonból a jobb-rosszabb tömörítés miatt különböző készítési testsűrűségű betonok készülnek, akkor a betonösszetételek is különbözők lesznek, ahogyan ezt a 3. táblázat mutatja.

3. táblázat: Változatlan keverési arányú (1:0,5:6:0,01) beton összetétele különböző készítési testsűrűség mellett

γ_{fb} kg/m^3	Cement-	Víz-	Adaléka.-	Adaléksz.-
	tartalom, kg/m^3			
	m_c	m_w	m_a	m_{ad}
2240	298	149	1790	3
2300	306	153	1838	3
2360	314	157	1886	3
2423	323	161	1936	3

A beton várható tulajdonságainak az előbecsléséhez a beton térfogat szerinti összetételére is szükség van (az alkotóanyagok tömör, abszolút térfogatára vonatkoztatva), s ezt az alkotóanyagok sűrűségének az ismeretében a tömeg szerinti keverési arányból lehet kiszámítani az alábbiak szerint:

$$(c / \rho_c) : (w / \rho_w) : (a / \rho_a) : (ad / \rho_{ad}$$

Mivel a cement sűrűségére $\rho_c = 3,1\ g/cm^3$, a víz sűrűségére $\rho_w = 1,0\ g/cm^3$, és a homokos kavics sűrűségére $\rho_a = 2,64\ g/cm^3$ jó közelítést ad, ezért a térfogat szerinti keverési arány:

$$(C/3,1) : w : (a/2,64) : (ad/\rho_{ad}) \qquad (25)$$

kifejezésből számítható.

A térfogat szerinti betonösszetétel számításhoz képezni kell az alábbi összeget:

$$V = (C/3,1) + w + (a/2,64) + (ad/\rho_{ad}) \qquad (26)$$

és ha ismeretes a friss, bedolgozott beton V_{fb} tömör térfogata, akkor a térfogat szerinti betonösszetétel:

a cement tömör térfogata:	$V_c = (V_{fb} / V) \times (c / 3,1)$	liter/m^3	(27)
a víz tömör térfogata:	$V_w = (V_{fb} / V) \times w$	liter/m^3	(28)
az adalékanyag tömör térfogata:	$V_c = (V_{fb} / V) \times (a / 2,64)$	liter/m^3	(29)
az adalékszer tömör térfogata:	$V_{ad} = (V_{fb} / V) \times (ad / \rho_{ad})$	liter/m^3	(30)

Ha az előző példában (lásd a 3. táblázatot) a betont jól tömörítették, akkor $V_{fb} = 1000$ liter/m^3, ezért a térfogat szerinti összetétel:

cement tömör térfogata:	$V_c = (1000/3,09916) \times (1/3,1) =$	104,1 liter/m^3
víz tömör térfogata:	$V_w = (1000/3,09916) \times 0,5 =$	161,3 liter/m^3
adalékanyag tömör térfogata:	$V_a = (1000/3,09916) \times (6/2,64) =$	733,4 liter/m^3

és ha $\rho_{ad} = 2,6\ g/cm^3$, akkor

adalékszer tömör térfogata:	$V_{ad} = (1000/3,09916) \times (0,01/2,6) =$	1,2 liter/m^3

A számítás ellenőrizhető: $V_{fb} = V_c + V_w + V_a + V_{ad} = 10,4,1 + 161,3 + 733,4 + 1,2 = 1000$ liter/m^3.

A 6. és 7. ábra mutatta be az adalékanyag mértékadó térfogatát, azaz a 125 kg/m^3 cementtartalommal készített földnedves, illetve képlékeny betonba tömöríthető legnagyobb adalékanyag térfogatot. Az a legnagyobb cementpép térfogat (cement s víz tömör térfogatának az összege), amely 1 m^3 megfelelően tömörített betonba bedolgozható, az alábbi kifejezésből számítható:

$$V_{po} = 1000 - V_{ao} \quad liter/m^3 \tag{31}$$

V_{po} értékét az adalékanyag pépigényének nevezzük. Képlékeny betonkeverékben az adalékanyag pépigénye a (13) képletnek megfelelően:

$$V_{po} = 350 - 22 \times lg\,(U\text{-}0,5) \times \frac{64}{16+(m-7)^2} \tag{32}$$

A beton tényleges cementpép tartalma:

$$V_p = V_c + V_w \tag{33}$$

Ha $V_p < V_{po}$, akkor a beton telítetlen, ha $V_p = V_{po}$, akkor a beton telített, és ha $V_p > V_{po}$, akkor a beton túltelített.

Ismert szemmegoszlású, finomsági modulusú és egyenlőtlenségi tényezőjű adalékanyagból készítendő, előírt keverési arányú beton telítettségi állapota a (26)-(30) képletek segítségével állapítható meg. Ha az adalékanyag $V_{fb} = 1000\ l/m^3$ felvételével számított V'_a tömör térfogata nagyobb, mint V_{ao}, akkor a beton telítetlen, ha egyenlő V_{ao}-lal, akkor telített, ha kisebb, mint V_{ao} , akkor túltelített. Minthogy azonban V'_a nem lehet nagyobb, mint, mint V_{ao} (definíciószerűen, mert V_{ao} az adalékanyag betömöríthető legnagyobb térfogata), ezért a telítetlen beton megfelelő tömörítés mellett elérhető térfogat szerinti összetételét a keverési arány és az adalékanyag mértékadó V_{ao} térfogata ismeretében az alábbi összefüggésekből lehet kiszámítani:

$$V_c = (1000 / V) \times (V_{ao} / V'_a) \times (c / 3,1) \quad liter/m^3 \tag{34}$$

$$V_w = (1000 / V) \times (V_{ao} / V'_a) \times w \quad liter/m^3 \tag{35}$$

$$V_a = (1000 / V) \times (V_{ao} / V'_a) \times (a / 2,64) \quad liter/m^3 \tag{36}$$

$$V_{ad} = (1000 / V) \times (V_{ao} / V'_a) \times (ad / \rho_{ad}) \quad liter/m^3 \tag{37}$$

ahol V'_a a (29) képletből $V_{fb} = 1000\ l/m^3$ felvételével számított adalékanyag térfogat.

PÉLDA

Az adalékanyag $D = 24\ mm$ legnagyobb szemnagyságú, $m = 5,7$ finomsági modulusú, $U = 16$ egyenlőtlenségi tényezőjű homokos kavics, amelyből $c : w : a = 1 : 0,92 : 10,93$ tömeg szerinti keverési arányú betont kell készíteni. Kérdés: milyen a beton telítettsége és összetétele megfelelő tömörítés mellett.

A (13) képletből $V_{ao} = 745\ l/m^3$. (26) képletből: $V = 5,38273$. Ha $V_{fb} = 1000\ l/m^3$, akkor a (27)-(29) képletekből: $V_c = 59,9\ l/m^3$; $V_w = 170,9\ l/m^3$ és $V'_a = 769,2\ l/m^3$.

Mivel $V'_a > V_{ao}$, ezért a beton telítetlen, tehát összetételét a (34)-(36) képletekből kell kiszámítani:

a (34) képletből: $V_c = 58,0\ l/m^3$
a (35) képletből: $V_w = 165,5\ l/m^3$
a (36) képletből: $V_a = 745\ l/m^3$

A bedolgozott friss beton tömör térfogata:

$$V_{fb} = V_c + V_w + V_a \tag{38}$$

tehát $V_{fb} = 58 + 165,5 + 745 = 968,5\ l/m^3$, a cementpéptartalom a (33)-ból: $V_p = 58 + 165,5 = 223,5\ l/m^3$, azaz $V_p < V_{po}$, a beton tehát telítetlen.

A beton tömeg szerinti összetétele megfelelő tömörítés mellett az alábbi kifejezésekből számítható:

$$m_c = 3,1 \times V_c \quad kg/m^3 \tag{39}$$

$$m_w = V_w \quad kg/m^3 \tag{40}$$

$$m_a = 2,64 \times V_a \quad kg/m^3 \tag{41}$$

$$m_{ad} = \rho_{ad} \times V_{ad} \quad kg/m^3 \tag{42}$$

A fentiekből következően a beton összetétele tömeg szerint:

$$m_c = 58 \times 3,1 = 180\ kg/m^3\ ; \quad m_w = 166\ kg/m^3 \quad \text{és} \quad m_a = 2,64 \times 745 = 1967\ kg/m^3$$

ezért a megfelelően tömörített beton készítési testsűrűsége: $\gamma_{fb} = 180 + 166 + 1967 = 2313\ kg/m^3$ kell, hogy legyen.

A továbbiakban a megfelelően tömörített beton adatait vesszővel különböztetjük meg a tényleges összetételi adatoktól, tehát pl. V'_c, m'_c a megfelelően tömörített betonban lévő cement térfogata, illetve tömege, míg V_c és m_c a ténylegesen elért összetétel adott tömörítés (tömörség) mellett. A (27)-(30), illetve a (34)-(37) kifejezésekből számított adatok tehát általában vesszővel jelölendők.

Erre a megkülönböztetésre azért van szükség, mert a gyakorlatban a tömörítés nem mindig hiánytalan, ezért nem mindig lehet elérni a számított testsűrűséget, illetve betonösszetételt, emiatt levegő marad vissza a bedolgozott friss betonban. Ennek a tömörítési hiány miatt keletkezett levegőtartalomnak az ismerete azonban szükséges mind a beton összetételének korrekt meghatározásához, mind a nyomószilárdság előbecsléséhez. A bedolgozott friss betonban levegő az alábbiak miatt keletkezhet:

- a betonban kevesebb a cementpép, mint amennyi az adalékanyag pépigénye,
- a betonban adalékszerrel hoznak létre mesterséges légbuborékokat,
- a beton tömörítése nem volt kielégítő.

A bedolgozott friss beton V_{lf} levegőtartalma a térfogat szerinti betonösszetétel ismeretében számítással is meghatározható: a levegőtartalom a beton teljes térfogatának és abszolút térfogatának (a betonalkotók abszolút térfogata összegének) a különbsége:

$$V_{lf} = 1000 - (V_c + V_w + V_a + V_{ad}) \tag{43}$$

A bedolgozott friss beton V_{lf} levegőtartalma a péphiány és a bedolgozási hiány miatt keletkezett V_{lp} és V_{lb}, továbbá a légpórusképző adalékszerrel mesterségesen bevitt V_{lad} levegőtartalmak összege:

$$V_{lf} = V_{lb} + V_{lp} + V_{lad} \tag{44}$$

Ha $V_{lad} = 0$, azaz a betonban nincs mesterségesen létrehozott légbuborék, akkor

$$V_{lf} = V_{lb} + V_{lp} \tag{45}$$

Ha a beton túltelített, akkor $V_{lp} = 0$, és nincs mesterségesen létrehozott légbuborék, akkor a bedolgozott friss beton teljes levegőtartalma a tömörítési hiány következménye, azaz

$$V_{lb} = V_{lf} \tag{46}$$

ezért V_{lb} értéke a (43) képletből számítható.

Ha a beton telítetlen vagy telített, akkor a megfelelő tömörítés feltétele: $V_a = V_{ao}$, azaz a betömörített friss beton éppen a mértékadó térfogatú adalékanyagot tartalmazza. Ha azonban telítetlen vagy telített betonban $V_a < V_{ao}$, akkor a tömörítési hiány által okozott V_{lb} levegőtartalom a

$$V_{lb} = (V_{ao} / V_a) \times (V_c + V_w + V_a + V_{ad}) - (V_c + V_w + V_a + V_{ad}) = V_{fb} \times (V_{ao} / V_a) - V_{fb} = V_{fb} \times \{(V_{ao} / V_a) - 1\} \tag{47}$$

kifejezésből számítható. A péphiány miatti levegőtartalom a (47) képlet analógiájára:

$$V_{lp} = V_{po} - \frac{V_{ao}}{V_a} \times (V_c + V_w) = V_{po} - \frac{V_{ao}}{V_a} \times V_p \tag{48}$$

3.2.3. A megszilárdult beton jellemzői

A megszilárdult beton jellemzőit az MI 2.2.3. fejezete foglalja össze. Valamennyi jellemző vizsgálatának módját és eszközeit szabványok írják elő. A különböző tulajdonságokra , így a beton nyomószilárdságára kapott vizsgálati eredmények azonban a befolyásoló tényezők nagy száma miatt sohasem lehetnek teljesen szabatosak. Nemcsak az alapanyagok minőségének véletlen ingadozásai, a betonösszetétel kismértékű eltérései, a beton tömörítésének esetleges pontatlansága és a környezeti körülmények változása okozza a vizsgálati eredmények szóródását, hanem a vizsgáló eszköz és a próbatest kölcsönhatása, a vizsgálatot végző személy pillanatnyi magatartása is.

A megszilárdult beton különböző jellemzői vizsgálati eredményeinek értékelése, összehasonlítása szempontjából figyelemreméltó az amerikai (USA) szabvány (ASTM C 670-75) ezzel kapcsolatos állásfoglalása, amely szerint

- ha egy laboratóriumban szakképzett munkaerő egyetlen betonkeverékből 3 db próbatestet készít és megfelelő korban a nyomószilárdságát megvizsgálja, akkor a 3 eredmény várható szilárdsági szórása 0,9 N/mm^2, a legkisebb és a legnagyobb eredmény várható eltérése pedig 2,8 N/mm^2 lehet,
- ha ugyanabban a laboratóriumban ugyanaz a szakképzett munkaerő ugyanazt a betonkeveréket két különböző alkalommal, de ugyanazokból az alapanyagokból elkészíti és ezekből 3-3 db próbatestet megvizsgál, akkor a két szilárdság átlagos értékének a várható eltérése 2,4 N/mm^2 lehet,
- ha két különböző laboratóriumban két, egyaránt szakképzett munkaerő ugyanazt a betonkeveréket ugyanazokból az alapanyagokból készíti el és ezekből 3-3 db próbatestet megvizsgál, akkor a hat vizsgálati eredmény szórása 1,6 N/mm^2, a legkisebb és a legnagyobb eredmény várható eltérése 4,4 N/mm^2, az átlagos nyomószilárdságok várható eltérése 2,6 N/mm^2 lehet.

Ez azt jelenti, hogy a laboratóriumi vizsgálati eredmények nem lehetnek tökéletesen szabatosak, hanem megfelelő felszereltség és szakképzettség mellett is a szabatos eredmény környezetében ingadoznak. A betonkeverék készítésében és vizsgálatában jól begyakorolt laboratóriumban az eredmények ingadozása kisebb, kevésbé begyakorolt laboratóriumban nagyobb, és tovább növekszik a vizsgálati eredmények ingadozása, ha a próbatesteket az ipari termelés során készített betonkeverékekből állítják elő.

Bár a szabványok megengedik, hogy a beton szilárdságának a vizsgálatához egy keverékből csak egyetlen próbatestet készítsenek, a fenti adatok szerint célszerűbb legalább 3 próbatest átlagos nyomószilárdságát meghatározni.

3.3. A beton tulajdonságait befolyásoló tényezők

A beton legfontosabb tulajdonságait befolyásoló tényezőkkel az MI 2.3. fejezet foglalkozik. A következőkben a Jegyzet az MI-ben ismertetett néhány tényező hatását részletesebben elemzi.

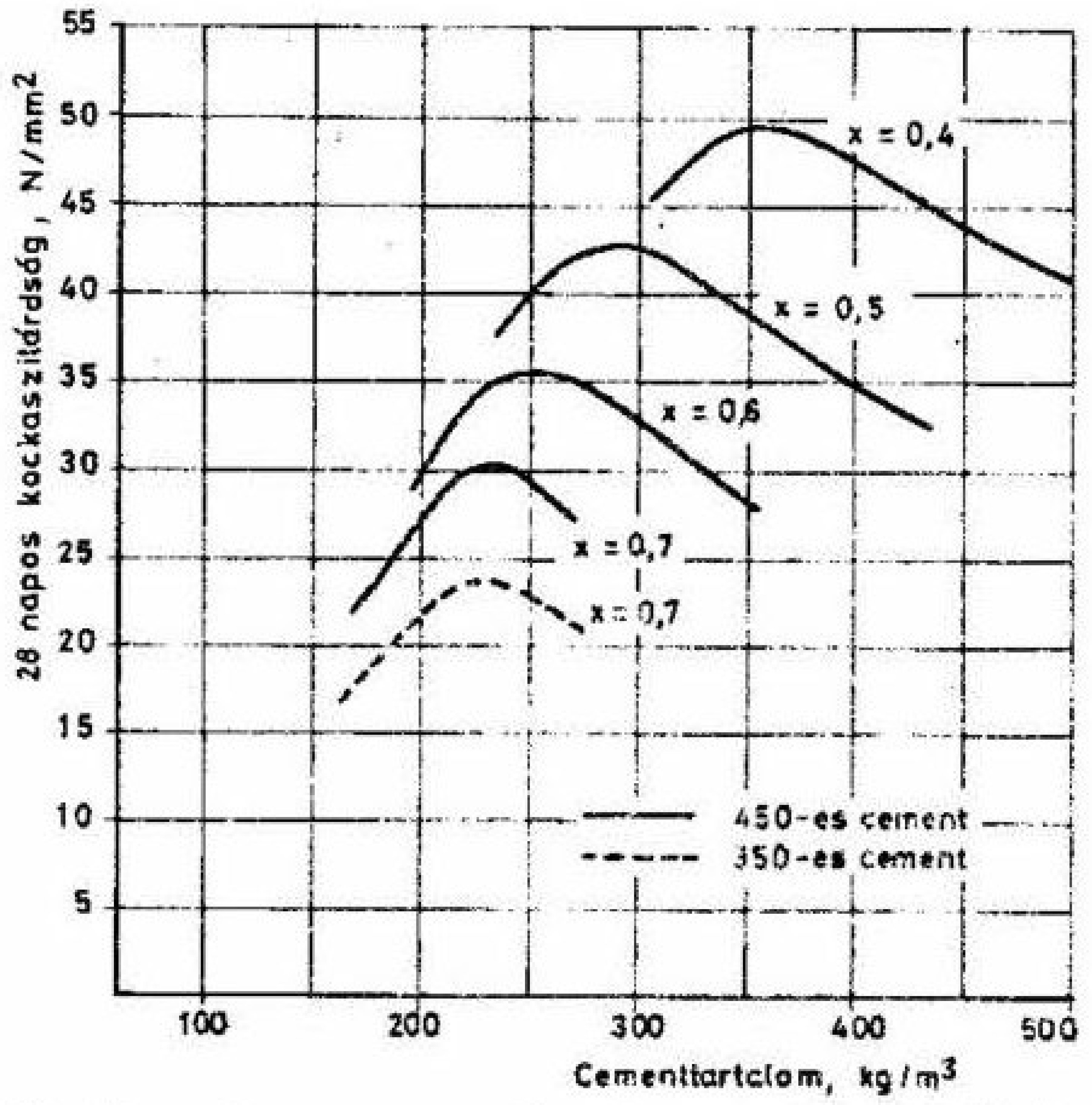
3.3.1. *A cement fajtája és mennyisége*

A betonok nyomószilárdságát általában az

$$x = m_w / m_c \tag{49}$$

víz/cement tényező függvényében szokás megadni. A 15. ábrán a $D = 16$ *mm* legnagyobb szemnagyságú, $m = 6$ finomsági modulusú, $U = 25$ egyenlőtlenségi tényezőjű homokos kaviccsal készített, különböző cementtartalmú és víz/cement tényezőjű betonkeverékekből előállított 20 cm élhosszúságú kockák 28 napos nyomószilárdsága látható az ÉTI-ben végzett vizsgálatok alapján.

Az ábrából megállapítható, hogy adott víz/cement tényezőjű betonkeverékek kezdetben növekvő, később csökkenő szilárdságúak, azaz minden víz/cement tényezőre van egy és csakis egy optimális cementtartalom, amely mellett a nyomószilárdság a legnagyobb. Megállapítható továbbá, hogy mennél kisebb a víz/cement tényező, annál nagyobb a cementtartalomnak a szilárdság szempontjából optimális mennyisége. Végül az ábrán az is látható, hogy változatlan víz/cement tényező és cementtartalom mellett nagyobb kötőerejű cementtel várhatóan nagyobb betonszilárdság érhető el, mint kisebb kötőerejű cementtel.



15. ábra: A cementtartalom és a cementfajta hatása a beton nyomószilárdságára

3.3.2. *A víz mennyisége és a beton konzisztenciája*

Már a betonkészítés korai időszakában (a XIX. század végén) felfigyeltek arra, hogy változatlan cementtartalom mellett a beton víztartalmának, tehát a víz/cement tényezőnek a növelése a beton nyomószilárdságának a csökkenésével jár. Azt is tapasztalták azonban, hogy a vízadagolás bizonyos határon túli csökkentésével a beton tömörsége csökken, s ez rontja a szilárdságot. Meg kellett tehát keresni azokat az összefüggéseket, amelyek segítségével a beton optimális víztartalma megállapítható. Ezeket az összefüggéseket részben ábrákban, részben képletekben adták meg az adalékanyag szemmegoszlásától és cementtartalmától függően, de mind az ábrák, mind a képletek korlátozott érvényességűek voltak.

4. táblázat: A cementtartalom határértékei a vízadagolás szempontjából és a többletcement vízigénye

D *mm*	m_{co} *kg/m³*	w_c *töm.%*
8	260	12
12	250	13
16	240	14
24	230	15
32	220	16
48	210	17

Az ÉTI vizsgálatai szerint homokos kaviccsal készített betonokra a gyakorlat számára jól használható az adalékanyag (7)–(10) képletekből számítható víztigénye, illetve az agyag-iszap tartalom 3 térfogat % értéket meghaladó mennyisége miatt szükséges, a (11) képlet szerinti módosítás mindaddig, amíg a beton cementtartalma a legnagyobb szemnagyságtól függő m_{co} értéket elér. Ennek az a magyarázata, hogy a szemcséket bevonó vízfilm a 4. ábra szerint helyezkedik el, s a képződő meniszkusz miatt bizonyos vízfelesleg keletkezik, amely meghatározott cementszemcse-felület bevonására elegendő. Az m_{co} cementtartalom értéke a 4. táblázatból olvasható ki.

Ha a tényleges cementtartalom $m_c > m_{co}$, akkor a többletcement w_c vízigénye ugyancsak a 4. táblázatban megadott értékű. A beton szükséges víztartalma:

$$m_w = m_{wo} + (m_c - m_{co}) \times (w_c / 100) \tag{50}$$

ahol m_{wo} értéke a (15) képletből számítható.

A beton víztartalmának az MI szerint javasolt meghatározása a régebbi módszerekhez képest azért is megbízhatóbb, mert a változatlan finomsági modulusú, de a 2. ábra szerint eltérő finomhomok-tartalmú és különböző agyag-iszap tartalmú adalékanyagokkal készített betonokra nem egyetlen víztartalmat ad. A (15) képlet szerint ugyanis m_{wo} nemcsak a finomsági modulustól, hanem az adalékanyag mértékadó tömegétől is függ, ez utóbbit pedig a (12) és a (14) képletek szerint az egyenlőtlenségi tényező és a finomsági modulus együttesne határozzák meg.

PÉLDA

Legyen három, $D = 16$ mm legnagyobb szemnagyságú és $m = 6{,}1$ finomsági modulusú adalékanyag-halmaz egyenlőtlenségi tényezője: $U_1 = 5;\ U_2 = 25$ és $U_3 = 50$. Készítendő *200 kg/m³* cementtartalmú, képlékeny konzisztenciájú beton. Kérdés, milyen legyen a betonok víztartalma ?

A (9) képlet szerint mindhárom adalékanyag-halmaz vízigénye $w_{ao} = 7,87\ \%$, mert a finomsági modulusok azonosak (f < 3 térf.%). A (12) szerint azonban a mértékadó térfogatok a következőképpen változnak:

$U_1 = 5$ mellett: $V_{ao,1} = 705\ l/m^3$; $U_2 = 25$ mellett: $V_{ao,2} = 766\ l/m^3$; $U_3 = 25$ mellett: $V_{ao,3} = 792\ l/m^3$

Ebből következően változik az eltérő egyenlőtlenségi tényezőjű adalékanyag mértékadó tömege is a következőknek megfelelően:

$U_1 = 5$ mellett: $m_{ao,1} = 1860\ kg/m^3$; $U_2 = 25$ mellett: $m_{ao,2} = 2020\ kg/m^3$; $U_3 = 25$ mellett: $m_{ao,3} = 2090\ kgl/m^3$

A (15) képletből számított alapvízmennyiségek a fenti adatok alapján:

$U_1 = 5$ mellett: $m_{wo,1} = 146\ kg/m^3$; $U_2 = 25$ mellett: $m_{wo,2} = 159\ kg/m^3$; $U_3 = 25$ mellett: $m_{wo,3} = 165\ kgl/m^3$

A 4. táblázat szerint $m_{co} = 240\ kg/m^3$, tehát $m_c < m_{co}$, ezért a cementre nem kell többletvizet számításba venni.

3.3.3. Az adalékanyag minősége

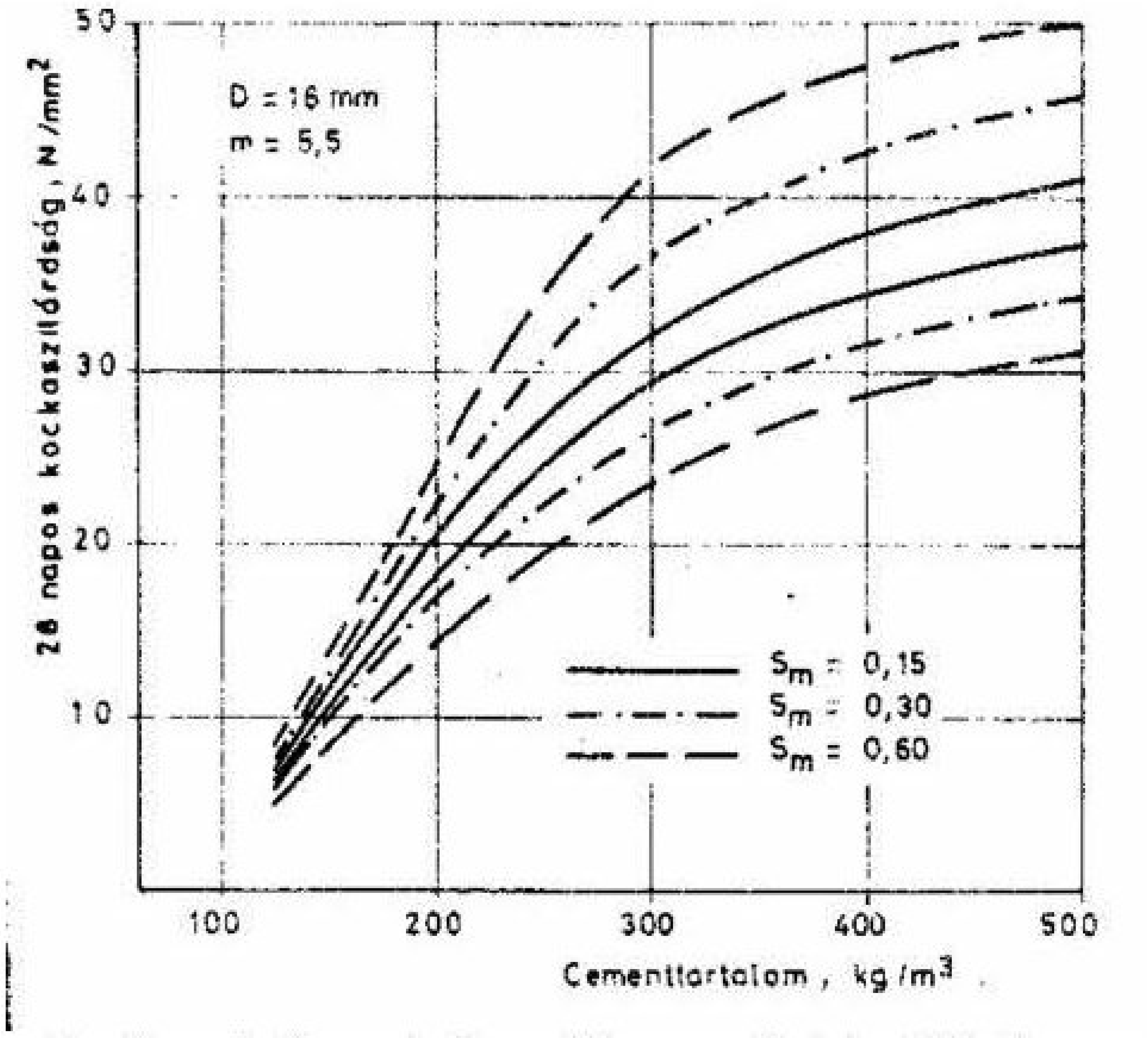
Az adalékanyag minőségének a megválasztására a beton szilárdsági jelétől függően az MI 7. táblázat ad tájékoztatást. Az adalékanyag szemmegoszlását, szemalakját és legnagyobb szemnagyságát mindig úgy kell kiválasztani, hogy vízigénye kicsi, bedolgozhatósága és összetartó képessége jó legyen.

Ez a két követelmény azonban ellentmond egymásnak: a finom homok mennyiségének a csökkentésével együtt mérséklődik a vízigény, de ugyanakkor nő a szétosztályozódási hajlam, romlik a bedolgozhatóság. A homokszegény adalékanyagokból csak nagy cementtartalommal lehet kellő mozgékonyságú, vérzés-mentes betonkeveréket készíteni, míg a homokdús adalékanyagból előállított beton zsugorodása, kúszása, levegőtartalma egyaránt növekszik.

Az 5. táblázat tájékoztat arról, hogy különböző cementtartalmú betonkeverékekben mennyi lehet az adalékanyag 0-0,25 mm-es szemcséinek a legkisebb mennyisége a kellő bedolgozhatóság érdekében. A táblázatból megállapítható, hogy pl. D = 16 mm-es, $m_{ao} = 1900\ kg/m^3$ mértékadó tömegű homokos kavicsból készített, 125 kg/m³ cementtartalmú beton akkor dolgozható be kielégítő módon, ha az adalékanyagban legalább 16 % a 0-0,25 mm-es finomhomok mennyisége. Ez azt jelenti, hogy a szemmegoszlási görbének a *B-C* határgörbék közé kell esnie.

5. táblázat: Az adalékanyag finom szemcséinek szükséges mennyisége

D mm	*A 0-0,25 mm finom szemek legkisebb mennyisége, kg/m³*			
	125	*200*	*350*	*500*
	kg/m³ cementtartalom mellett			
8	380	300	170	30
12	340	260	150	25
16	300	240	130	25
24	270	190	110	20
32	240	160	90	20
48	220	140	70	15
63	200	120	50	15



16. ábra: A finomsági modulus s_m szórásának hatása a beton nyomószilárdságának a szélső értékeire (képlékeny konzisztencia)

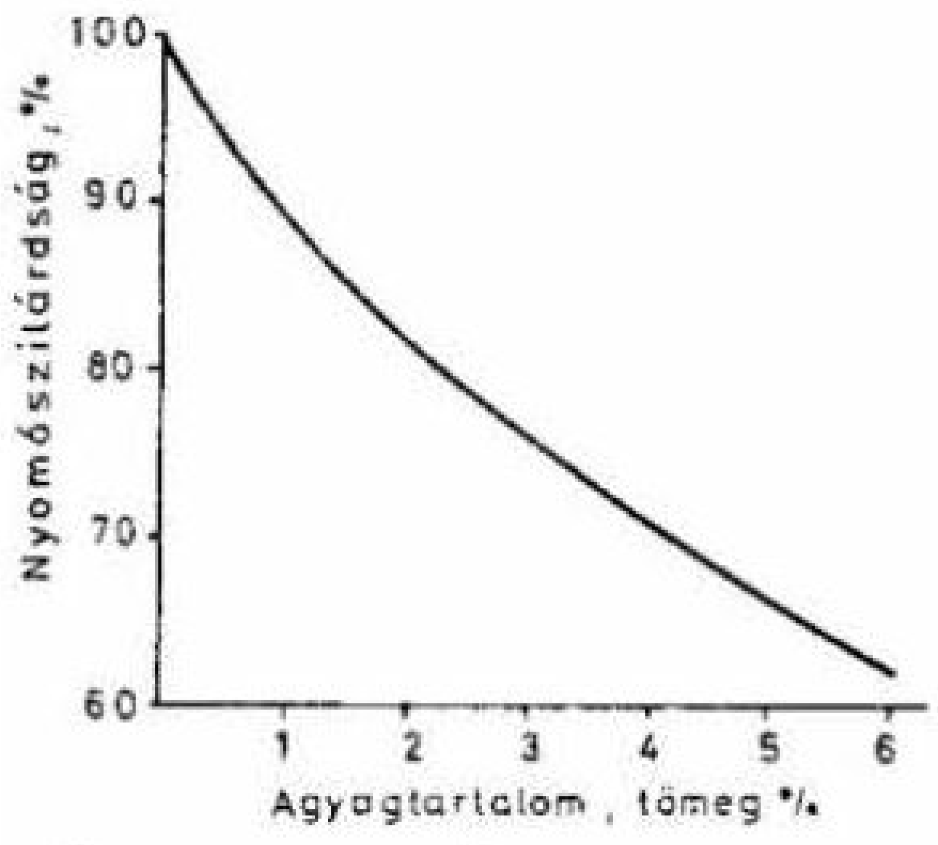
Az egyenletes minőségű beton készítésének legfontosabb feltétele az egyenletes szemmegoszlású adalékanyag. A szemmegoszlás egyenletességét a finomsági modulus, az egyenlőtlenségi tényező és az agyag-iszap tartalom szórásával lehet kifejezni (számításának a módját az MI 2.3.3. fejezete tartalmazza).

A finomsági modulus szórásának a beton nyomószilárdságára gyakorolt hatását a 16. ábrán lehet látni $m = 5,5$ átlagos finomsági modulusú, $D = 16\ mm$-es homokos kavicsra. Tájékoztató adatok:

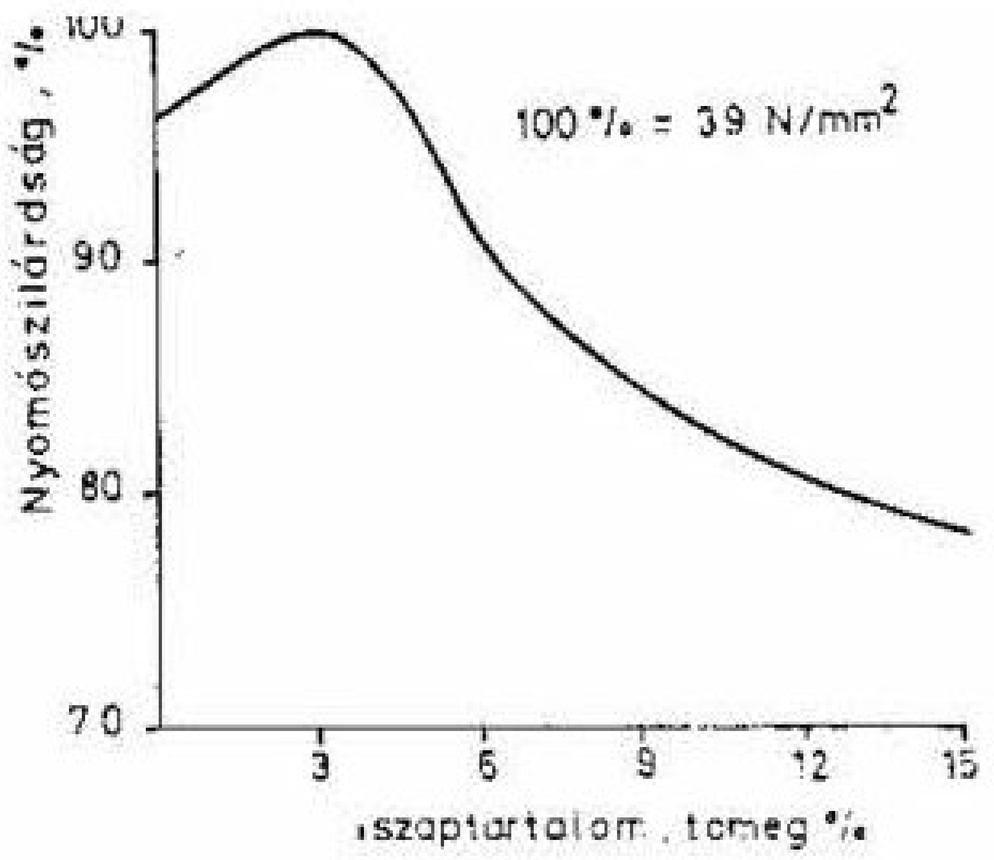
- ha a finomsági modulus szélső értékei *5,2-5,8*, akkor $s_m = 0,15$;
- ha a finomsági modulus szélső értékei *4,7-6,3*, akkor $s_m = 0,30$;
- ha a finomsági modulus szélső értékei *4,2-6,8*, akkor $s_m = 0,60$.

Az ábráról leolvasható, hogy ha a képlékeny beton cementtartalma legfeljebb 200 kg/m³, akkor a nyomószilárdság ingadozása legfeljebb ±5 N/mm², de 300 kg/m³-nél nagyobb cementtartalom mellett már ±10 N/mm² értékű.

A beton tulajdonságait az adalékanyag agyag-iszap tartalma ugyancsak befolyásolja (agyag a $d < 2\ \mu m$, iszap a $d = 2 - 20\ \mu m$ átmérőjű szemcse). E kétféle finom anyag hatása a beton szilárdságára eltérő; a BME Építőanyagok tanszékének a vizsgálatai szerint az iszap kisebb mennyiségben növelheti a beton nyomószilárdságát a 17. ábrának megfelelően, míg az agyagtartalom már 1 tömeg % mellett is szilárdságcsökkenést okozhat, ahogyan ez a 18. ábrán látható.



18. ábra: Az agyag hatása a beton nyomószilárdságára



17. ábra: Az iszap hatása a beton nyomószilárdságára

A finoman elosztott agyag és iszap szennyeződés az adalékanyag vízigényét növeli a (11) képletnek megfelelően, részben az okozza a csekélyebb szilárdságot. Különösen káros a homok- és a kavics-szemekre tapadt agyag- és iszapréteg, mert megakadályozza a cementkő és az adalékanyag kellő tapadását, együttdolgozását.

3.3.4. A tömörítés

A tömörítés hatásáról az MI 2.3.4. fejezete tájékoztat. A beton összetételét és konzisztenciáját azért kell a rendelkezésre áll tömörítő eszközhöz illeszteni, mert ennek elmulasztása vagy a bedolgozott friss beton levegőtartalmára hat kedvezőtlenül a 3.2.2. fejezet szerint (ha a betonkeverék a szükségesnél szárazabb), vagy tömörítés közben a beton szétosztályozódhat, a cementpép a szerkezet alsó rétegeiben feldúsul, a felső rétegek kavicsfészkessé válnak (ha a betonkeverék a szükségesnél nedvesebb). Mindkét jelenség rontja a beton tulajdonságait; az első a beton átlagos nyomószilárdságát, a második a szilárdság egyenletességét és a beágyazott acélbetétek korrózióvédelmét.

Földnedves betont a helyszínen általában csak lemezszerű szerkezetbe lehet levegőmentesen bedolgozni vibrodöngöléssel, vibrohengerrel, vagy előregyártó üzemben vibropréseléssel, sokkolással. Ezért monolit szerkezetekhez kissé képlékenynél szárazabb betonkeveréket nem szabad készíteni, ugyanakkor a merülővibrátor a képlékenynél nedvesebb betonkeverékben már szétosztályozódást okozhat.

A beton konzisztenciája a vasalás sűrűségétől és a szerkezet keresztmetszeti méreteitől, valamint alakjától is függ: sűrűn vasalt szerkezetekhez általában nem használható képlékenynél szárazabb betonkeverék.

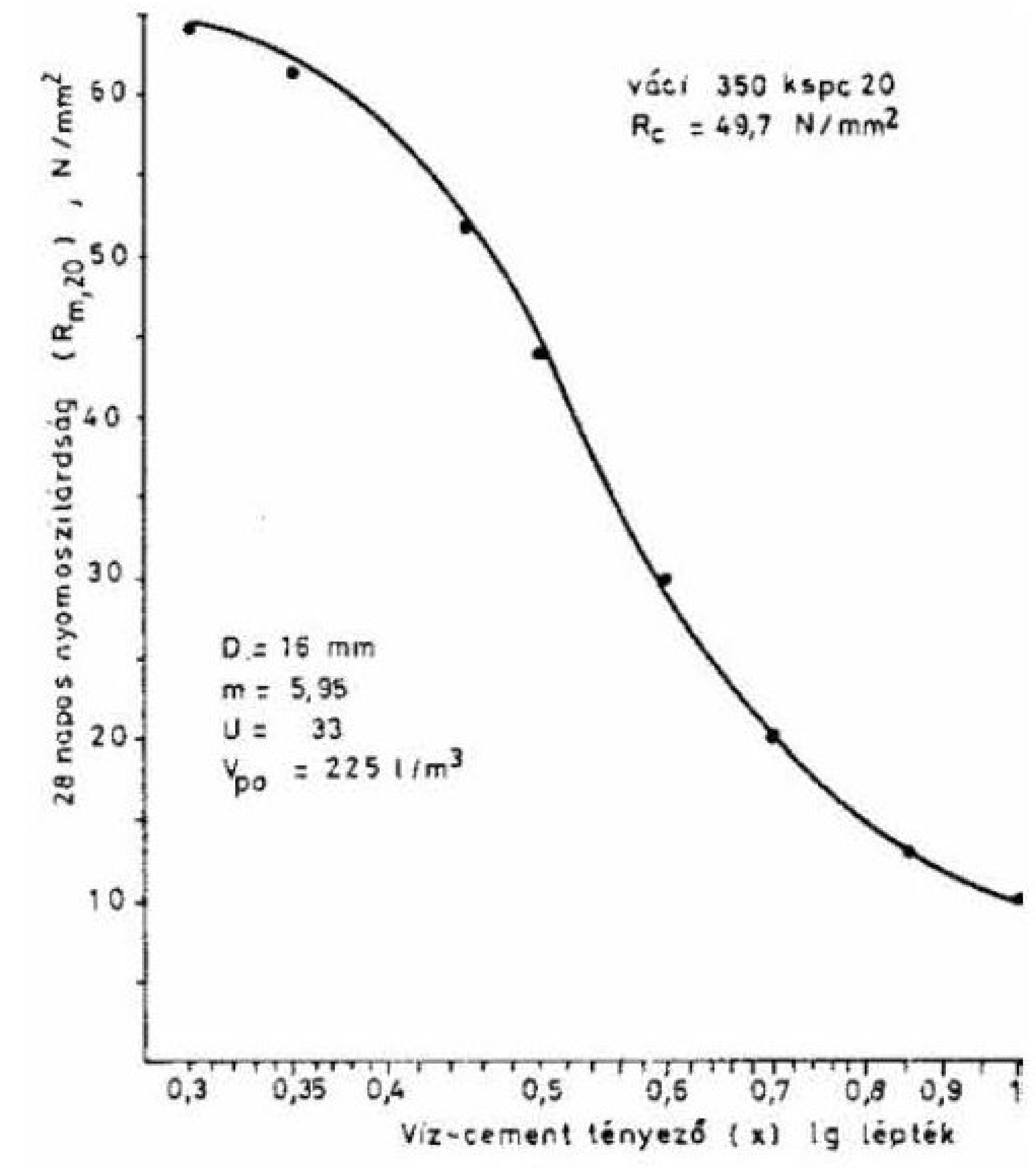
A betonozási munka megkezdése előtt éppen ezért szükséges a próbakeveréssel együtt a szerkezet modelljét is elkészíteni mintegy 1 m^2 felületű zsaluzattal és abban próbatömörítéssel ellenőrizni a tömörítőeszköz alkalmasságát: meg kell mérni a beton testsűrűségét, ki kell számítani levegőtartalmát és szemrevételezéssel meg kell állapítani, keletkeztek-e kavicsfészkek a betonban, van-e szétosztályozódás.

Ha a próbatömörítés eredménye szerint a képlékeny vagy folyós konzisztenciájú betonkeverék víztartóképessége csekély, a víz egy része elfolyik, akkor nem a cementtartalom növelésével, hanem az adalékanyag finomrész tartalmának az 5. táblázat szerinti beállításával kell ezt a hibát kiküszöbölni.

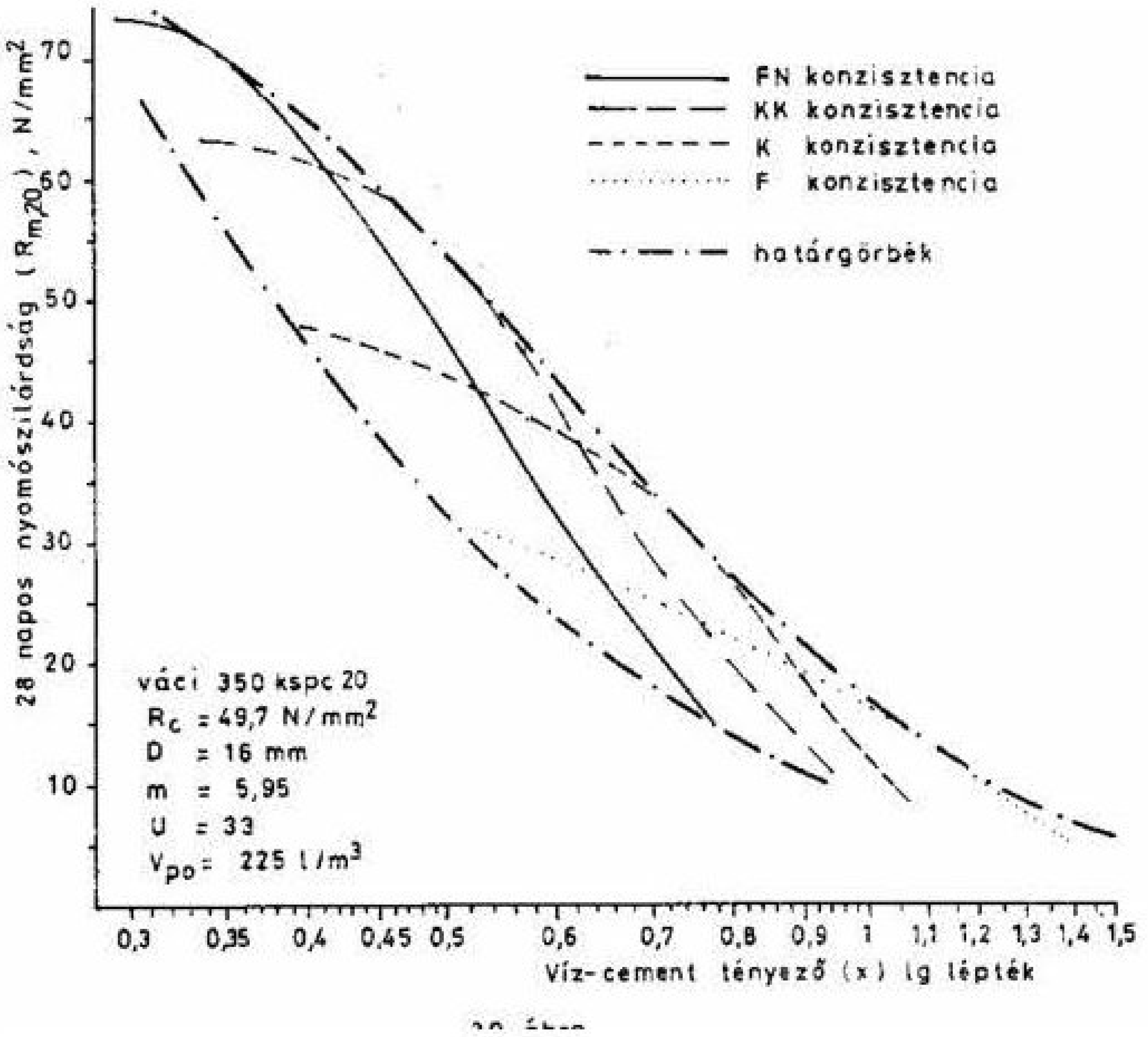
3.3.5. A módosított víz/cement tényező

AZ elmúlt évtizedek ipari tapasztalatai, valamint a hazai és a külföldi laboratóriumi kutatásai tisztázták, hogy az alábbi tényezők önmagukban és egymással kölcsönhatásban határozzák meg a beton tulajdonságait, mindenek előtt a nyomószilárdságát:

a) A cement kötőereje (tényleges szilárdsága) és vízérzékenysége.
b) A cement mennyisége tömegben vagy a cementpép mennyisége térfogatban.
c) Az adalékanyag szemcséinek (legnagyobb szemnagyság és szemalak), valamint halmazának (finomsági modulus, egyenlőtlenségi tényező, mértékadó térfogat, illetve pépigény) jellemzői.
d) Az adalékanyag mennyisége (tömegben vagy térfogatban).
e) A víz mennyisége, elsősorban a cement mennyiségéhez viszonyítva (víz/cement tényező).
f) Az alkotóanyagok adagolásának a pontossága.
g) A keverés módja és ideje (a betonkeverék homogenitása).
h) A friss betonkeverék tulajdonságai (konzisztencia, mozgékonyság, bedolgozhatóság, vízmegtartó-képesség, szétosztályozódási hajlam).
i) A betonkeverék szállításának módja és időtartama (szegregálódás, merevedés).
j) A tömörítés módja és hatékonysága (tömörség, levegőtartalom).
k) A beton és a zsaluzat kölcsönhatása (pl. a zsaluzat anyagának a vízelszívó képessége).
l) Az utókezelés módja és időtartama (páratartalom, hőmérséklet).



19. ábra: Kissé képlékeny konzisztenciájú betonok nyomószilárdsága a víz/cement tényezőtől függően



20. ábra: Különböző konzisztenciájú betonok nyomószilárdsága a víz/cement tényezőtől függően

A felsorolt tényezők egy része a technológiai géplánc elemeinek a színvonalától függ (f, g, i, j, k és 1), ezeket „külső" tényezőknek lehet tekinteni, másik része az alkotóanyagoktól és ezek arányától, ezeket „belső" tényezőknek lehet felfogni. A továbbiakban főleg a belső tényezőket vizsgáljuk, bár pl. a beton tömörsége mind a beton összetételétől, mind a tömörítés módjától függ, ezért itt a külső tényezőktől nem lehet eltekinteni.

Ha a belső tényezők közül csak a víz mennyisége változik, de változatlan a cement R_c kötőereje és vízérzékenysége, a cementtartalom, az adalékanyag fajtája és minden jellemzője (*m, U,* V_{ao} *,* w_{ao}), a konzisztencia és a beton tömö9rsége, akkor a víz/cement tényező és a nyomószilárdság összefüggését egyetlen görbével lehet jellemezni. Az ÉTI idevágó vizsgálatai közül egy kísérletsorozat eredményeit a 19. ábra foglalja össze.

Ha a cement- és víztartalom is változik, továbbá módosul a konzisztencia is, akkor minden konzisztenciára külön-külön kell meghatározni a víz/cement tényező és a nyomószilárdság összefüggését. Ezzel kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy a konzisztenciát, a konzisztencia azonosságát a pontos összefüggések vizsgálatakor nem szabad nagyvonalúan – csak a gyakorlatot kielégítő módon – értelmezni, hanem szabatosan – tehát a laboratóriumi igényeket kielégítő pontossággal – kell az azonosság feltételeit megteremteni. Ezért csak többféle konzisztenciamérő eszköz együttes alkalmazásával szabad a konzisztencia azonosságát ellenőrizni.

A szabatosan azonos konzisztenciájú betonokra, ha csak a cement és a víz mennyisége változik, akkor a 20. ábrán bemutatott összefüggéseket lehet kapni, tehát a beton nyomószilárdsága nem egyetlen görbével jellemezhető, hanem meghatározott határgörbék közé eső területtel. A határgörbéket eredményvonallal tüntettük fel.

Könnyen belátható, hogy ha az adalékanyag szemmegoszlása (mértékadó térfogata) és a beton tömörsége is változik, csupán a cement kötőereje és vízérzékenysége változatlan, akkor a víz/cement tényező és a nyomszilárdság összefüggése egyre több és több görbével jellemezhető, egyre nagyobb területre oszlik szét. Ebből viszont az is következik, hogy a beton szilárdságát a víz/cement tényezőből egyetlen függvénnyel nem lehet kiszámítani, hanem minden, a beton szilárdságát befolyásoló tényezőre külön-külön függvényt kellene meghatározni, de még így sem lehetne e tényezők kölcsönhatására következtetni.

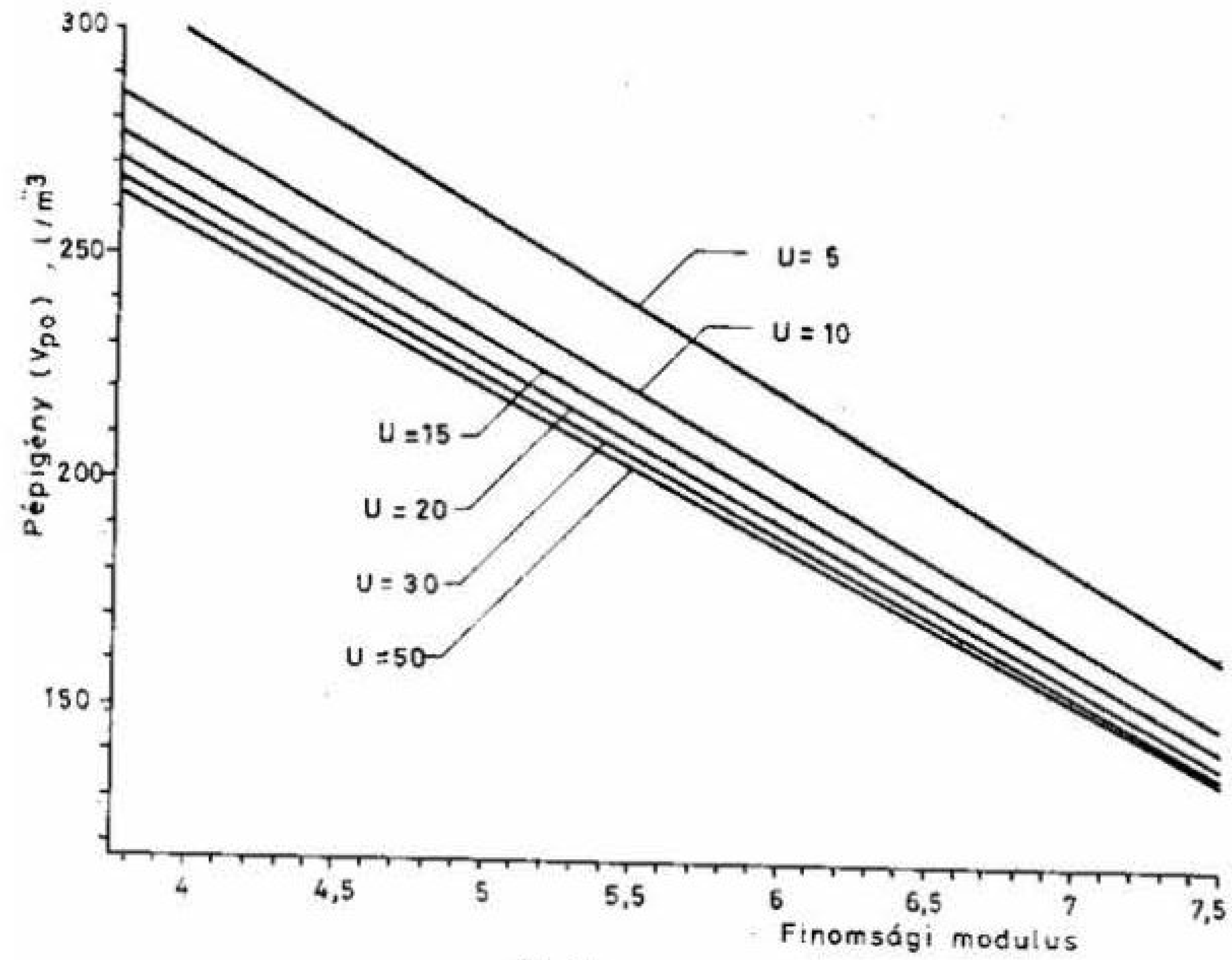
Az ÉTI-ben az elmúlt tíz évben folytatott vizsgálatok elemzése vezetett arra az eredményre, hogy a beton szilárdságának a meghatározásához elsősorban a víz/cement tényezőt, a felhasznált adalékanyag mértékadó térfogatából számítható pépigénynek és a péptartalomnak a viszonyát, továbbá a beton tömörségét (levegőtartalmát) kell számításba venni. A víz/cement tényező elsősorban a cementkő-váz szilárdságának várható legnagyobb értékével van szoros kapcsolatban, azaz a hiánytalanul tömörített, optimális tömörségű cementkő-váz szilárdságával. Az adalékanyag-váz jellemzői és a beton tényleges tömörsége ezt az optimális esetben elérhető szilárdságot azonban csökkenthetik, módosíthatják, s ezt a hatást lehet kifejezni az *Ujhelyi-féle* módosított víz/cement tényezővel. A módosított víz/cement tényező:

$$x' = \alpha \times x \qquad (51)$$

kifejezésből számítható, ahol α szorzótényező:

telítetlen betonra: $\alpha = 1 + (V_{po} - V'_p) \; / \; V_{po} + V_{lb} \; / \; (x \times V_p)$ (52)

túltelített betonra: $\alpha = 1 + (V'_p - V_{po}) \; / \; V'_p + V_{lb} \; / \; (x \times V_p)$ (53)



21. ábra: Földnedves konzisztenciájú betonok pépigénye

Az (52)-(53) képlet tényezői közül

- V_{po} értékét *FN* konzisztenciájú betonra a 21. ábrából lehet meghatározni, míg *KK* konzisztenciájú betonra a pépigény ehhez képest + 20 l/m^3, *K* konzisztenciájú betonra + 40 l/m^3 és *F* konzisztenciájú betonra + 60 l/m^3 értékkel vehető fel;
- a hiánytalanul tömörített beton péptartalma V'_p, ennek értéke telítetlen betonra:

$$V'_p = (V_{ao}/V_a) \times (V_c+V_w) = (V_{ao}/V_a) \times V_p \quad (54)$$

telített vagy túltelített betonra:

$$V'_p = 1000/(V_c+V_w+V_a+V_{ad}) \times (V_c+V_w) \quad (55)$$

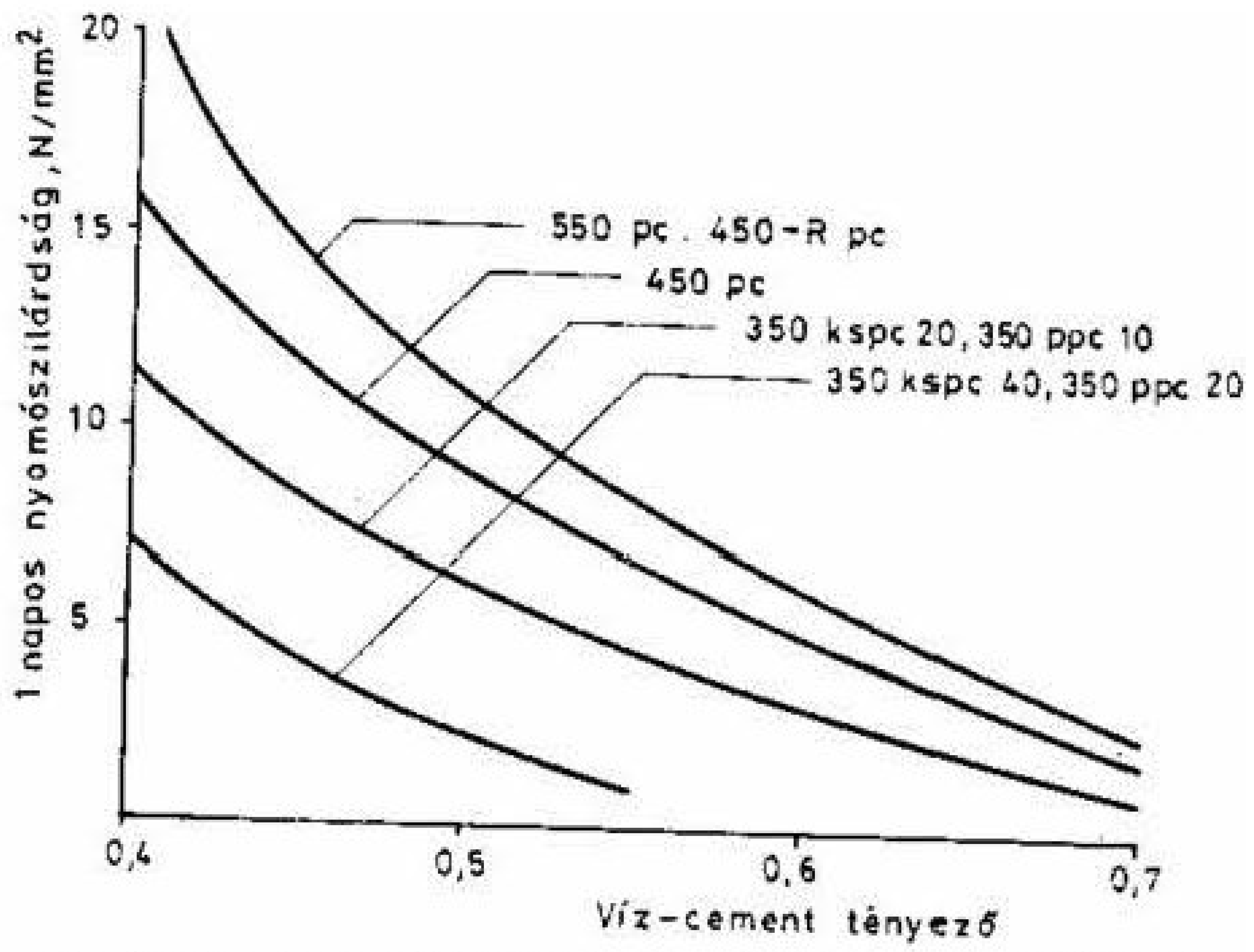
képletből számítható;
- a tömörítési hiány miatti levegőtartalom V_{lb} értéke túltelített betonra a (46), illetve(43) képletből, telített vagy telítetlen betonra a (47) képletből számítható.

3.3.6. Egyéb tényezők

A beton tulajdonságait az eddigieken kívül az utókezelés módja és időtartama, a beton kora, a hőmérséklet és a vegyi hatások befolyásolják. Ezekről az MI 2.3.6.-2.3.9. fejezetei tájékoztatnak.

Az utókezelés elsősorban a beton nedvesen tartását jelenti. Mennél hosszabb ideig tart az utókezelés, annál kedvezőbbé válik a beton valamennyi tulajdonsága: javul a szilárdsága, fagyállósága, vízzárósága, kopásállósága, egyenletessége, csökken a zsugorodása és a kúszása. Különösen a nagyfelületű, kisebb vastagságú, lemezszerű betonszerkezeteket (pl. burkolatokat) kell hosszú ideig nedvesen tartani.

A beton korának a növekedésével (éveken át) nő a beton nyomó- és húzószilárdsága, tömörsége, fagyállósága, vízzársága, rugalmassági modulusa. A növekedés mértéke í cement fajtájától függ: az 550-es és 450-es cementek kezdetben gyorsabban, később lassabban szilárdulnak, mint a 350-es, illetve 250-es cementek. A korai szilárdság nagymértékben függ a víz/cement tényezőtől, ahogy erről a 22. ábra tájékoztat.



22. ábra: Az 1 napos nyomószilárdság alakulása a cementfajtától függően

A környezeti körülmények közül a hőmérséklet hatása a legjellemzőbb a szilárdulás menetére: csökkenésével lelassul, emelkedésével meggyorsul a szilárdulási folyamat. A 6. táblázat tájékoztat a 350-es és 450-es cementekkel készített betonok viszonylagos nyomószilárdságáról különböző tárolási hőmérsékletek mellett, ha a víz/cement tényező legfeljebb 0,6.

6. táblázat: A beton viszonylagos nyomószilárdsága különböző tárolási hőmérsékleten

A beton kora, nap	*A beton viszonylagos nyomószilárdsága %*					
	-2	*0*	*+5*	*+10*	*+20*	*+30*
	°C hőmérsékleten					
2	-	*1*	*5*	*12*	*25*	*40*
3	*2*	*8*	*15*	*24*	*38*	*50*
7	*8*	*25*	*40*	*50*	*65*	*75*
14	*15*	*40*	*60*	*70*	*85*	*90*
28	*25*	*55*	*75*	*85*	*100*	*98*

A beton felületével érintkező gáznemű, vagy folyékony anyagok, illetve az ezekben levő esetleges káros vegyületek hatására a beton felülete tönkremegy, illetve a hidratált cementvegyületek megbomlanak, a beton szilárdsága fokozatosan megszűnik. A korrózió lehet kilúgozásos, cserebomlásos vagy duzzadásos.

A kilúgozásos, vagy kioldásos korrózió akkor jön létre, ha a betonnal érintkező folyadék, vagy oldat a beton alkotórészeit változás nélkül, illetve azok elbontása közben kioldja, és így növeli a beton pórustartalmát, csökkenti a tömegét, tömörségét. Ebből a szempontból legveszélyesebb a sósav.

Duzzadásos korrózió úgy jön létre, hogy a betonba hatoló anyagokból, illetve ezeknek és a beton (cement) alkotórészeinek a reakciója közben keletkező vegyületekből a beton pórusaiban olyan kristályok válnak ki, amelyek térfogata nagyobb, mint a vegyületek eredeti térfogata és ez a kristályosodás a betonban belső feszültségeket hoz létre, a betont szétfeszíti, szétporlasztja. Ilyen például a szulfáttartalmú talajvíz által okozott korrózió.

A kisebb mérvű vegyi hatások ellen nagy tömörségű beton készítésével is lehet védekezni (primer védelem, részletesen MI 17. fejezet), de erősebb hatásokkal szemben a betont egyéb módon meg kell védeni (pl. bevonatokkal, impregnálással: ez a szekunder védelem).

3.4. A beton összetételének tervezése és szilárdságának előbecslése

A beton összetételének a tervezésekor a terven feltüntetett szilárdsági jelnek megfelelő minősítési szilárdságot kell alapul venni az 1., illetve 2. táblázatnak megfelelően. A tervezés módját és feltételeit az MI 2.4. fejezete foglalja össze.

A betonokat összetételük megtervezése szempontjából három csoportba soroljuk:

- receptbetonok (az MI 24.-26. táblázatai szerinti ajánlásnak megfelelő összetételű betonok),
- tervezett betonok (a beton készítője által egyedileg tervezett betonkeverékek),
- rendelt betonok (a beton megrendelője által egyedileg tervezett betonkeverékek).

A következőkben a Jegyzet a tervezett és a rendelt betonok összetételének tervezését összevontan ismerteti, mert az eljárás független attól, hogy azt a beton készítője, vagy a megrendelője hajtja végre.

3.4.1. A szükséges nyomószilárdság meghatározása

A szükséges átlagos nyomószilárdságot a beton tervben megadott szilárdsági jelének megfelelően a betonkészítő munkahely adottságaihoz illesztve kell megállapítani. A munkahelyi adottságokat jól tükrözi a nyomószilárdság szórása, amely megmutatja, hogy a beton előállításakor a készítési feltételeket (alapanyagok minősége, mérlegelés, adagolás, tömörítés és utókezelés) milyen mértékben lehetett egyenletes szinten tartani. A szabatosan egy tételbe tartozó betonok szilárdsági szórása a (19) képlettel számítható.

Ha egy munkahelyen a korábbi vizsgálatokból nincs elegendő adat a szilárdság szórásának a számítására, akkor a készítési feltételektől, az üzem technikai szintjétől függően értékét az MI 24. ábrája alapján lehet felvenni. E szerint jól begyakorolt szakmunkások kiválóan felszerelt üzemben 20 N/mm^2 vagy ennél nagyobb átlagszilárdságú betonokat 2 N/mm^2, jól felszerelt betonüzemben 4 N/mm^4, míg közepesen vagy gyengén képzett betanított munkások közepesen felszerelt üzemben 6 N/mm^2, gyengén felszerelt üzemben 8 N/mm_2 szórással képesek készíteni.

H a szórást ismerjük, akkor a szükséges átlagos nyomószilárdságot a (17) képletből kell kiszámítani, amelyhez *k* értéke a (18) képlet alapján határozható meg, *t* értékét pedig *t = 1,645*-re lehet felvenni.

Még a legjobban felszerelt üzemben sem lehet azonban változó minőségű alapanyagokból egyenletes szilárdságú betont készíteni. A szilárdság egyenletességére legnagyobb hatása az adalékanyag minőségingadozásának van. Ha ismeretes az adalékanyag szemmegoszlásának (finomsági modulusának és egyenlőtlenségi tényezőjének), valamint agyag-iszap tartalmának átlagértéke és szórása, akkor ez sokkal jobb támpontot ad a szükséges – tervezési – nyomószilárdság meghatározására, mint az MI 24. ábrájából felvett érték, mert így a beton összetétele az adalékanyag minőségingadozásához illeszthető.

Az adalékanyag folyamatos üzemi ellenőrzésének az adataiból (pl. egy nagyobb adalékanyag-szállítmányból 10-15 minta kivétele és vizsgálata révén) a fenti jellemzők az MI 2.3.3. fejezetében ismertetett módon számíthatók, a következők szerint:

a finomsági modulus átlagértéke :
$$\overline{m} = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i}{n} \qquad (56)$$

a finomsági modulus szórása:
$$s_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(\overline{m} - m_i\right)^2}{n-1}} \qquad (57)$$

az egyenlőtlenségi tényező átlagértéke:
$$\overline{U} = \frac{\sum_{i=1}^{n} U_i}{n} \qquad (58)$$

az egyenlőtlenségi tényező szórása: $$s_U = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\overline{U} - U_i\right)^2}{n-1}}$$ (59)

az agyag-iszaptartalom átlagértéke: $$\overline{f} = \frac{\sum_{i=1}^{n} f_i}{n}$$ (60)

az agyag-iszaptartalom szórása: $$s_f = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\overline{f} - f_i\right)^2}{n-1}}$$ (61)

ahol m_i , U_i , illetve f_i = a finomsági modulus, az egyenlőtlenségi tényező, illetve az agyag-iszaptartalom egyedi vizsgálati eredményei,

n = a vizsgálatok száma.

A Jegyzet 3.1. fejezete szerint a nyomószilárdság 5% alulmaradási valószínűséghez tartozó küszöbértékét mindig el kell érni (lásd 1. táblázat), ezért az adalékanyag jellemzőinek is ki kell számítani az 5%-os küszöbértékeit, mégpedig a beton szilárdsága szempontjából kedvezőtlen esetekre. A szilárdság szempontjából kedvezőtlen a kis finomsági modulus, valamint a nagy egyenlőtlenségi tényező és agyag-iszap tartalom. Ezért számítjuk ki a következő jellemzőket:

- a finomsági modulus 5% alulmaradási valószínűséghez tartozó értéke: $m_k = \overline{m} - 1{,}645 \times s_m$ (62)
- az egyenlőtlenségi tényező 5% felülmaradási valószínűséghez tartozó értéke: $U_k = \overline{U} + 1{,}645 \times s_U$ (63)
- az agyag-iszap tartalom 5% felülmaradási valószínűséghez tartozó értéke: $f_k = \overline{f} + 1{,}645 \times s_f$ (64)

Ezekre az adatokra támaszkodva a beton összetételét az 1. táblázatban megadott minősítési szilárdságra lehet megtervezni, mert így ezzel az összetétellel még akkor is elérhető az előírt minősítési szilárdság, ha az adalékanyag valamennyi jellemzője a kedvezőtlen esetek 5% valószínűségi szintjéhez tartozó értéket éri el. Az MSZ 4720 szabványt kielégítő beton készítésének éppen ez a feladata.

3.4.2. A betonösszetétel illesztése a szükséges nyomószilárdsághoz

A beton összetételét az Ujhelyi-féle módosított víz/cement tényező és a beton nyomószilárdsága között lévő

$$R = A \times exp - (B \times x')$$ (65)

összefüggésből kiindulva lehet meghatározni. Ebben az összefüggésben A szimbólum a cement R_c kötőerejétől (szabványos nyomószilárdságától) és B szimbólum a cement vízérzékenységétől függő tényező, amelyre az utolsó 5 évben az ÉTI-ben végzett vizsgálatok alapján $A = 2{,}4 \times R_c$ és $B = 1{,}8$ vehető fel első közelítésként. A szilárdság számításának alapképlete tehát:

$$R = 2{,}4 \times R_c \times exp - (1{,}8 \times x')$$ (66)

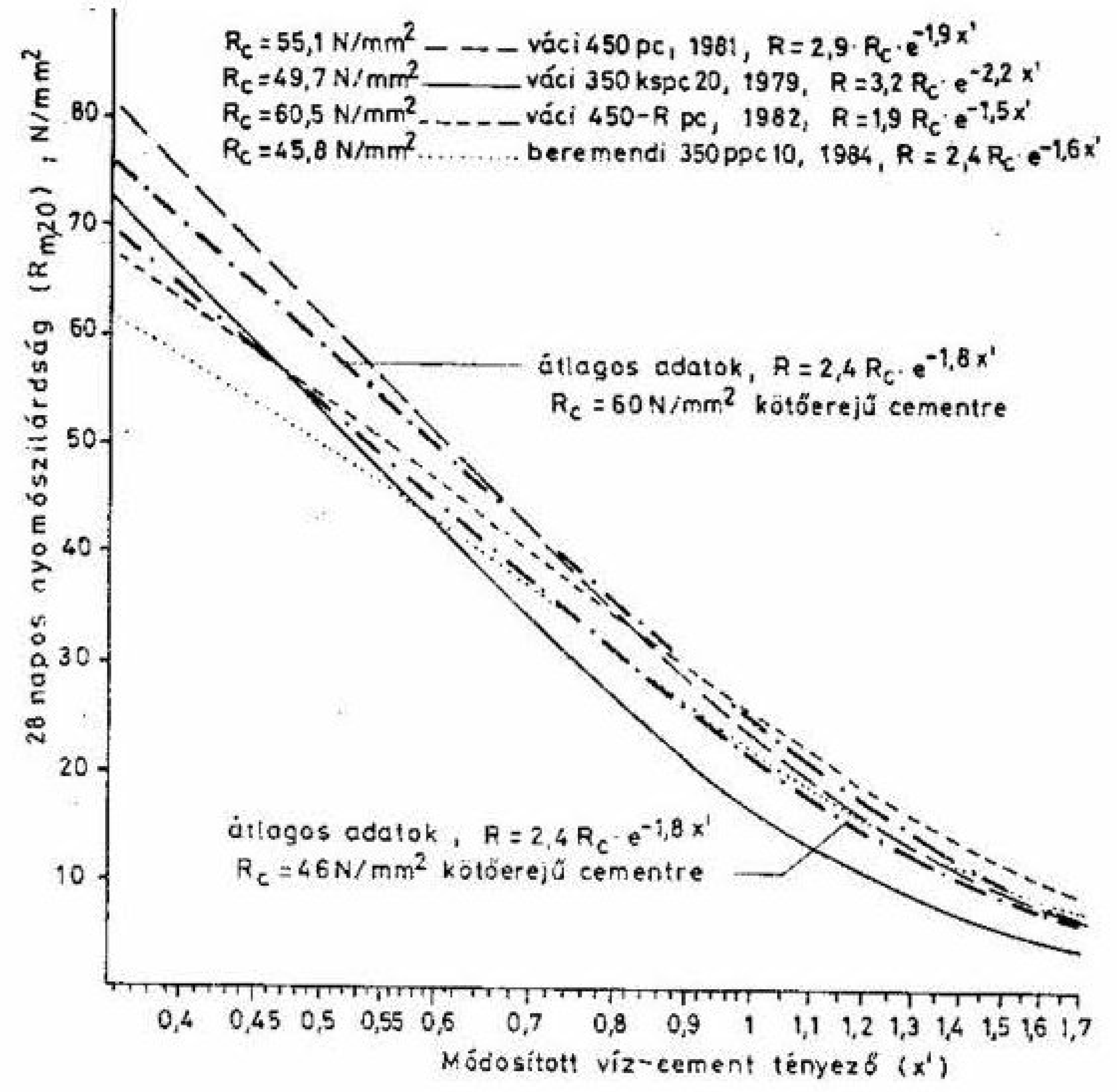
Az A és B állandó értéke függ a cement őrlésfinomságától (pl. mennél finomabbra őrölt a cement, annál kisebb B értéke) és ásványi összetételétől. Az ÉTI által az elmúlt 5 évben, különböző cementekkel végzett vizsgálatok szerint az A tényező $3{,}9 \times R_c – 3{,}2 \times R_c$, míg a B tényező $1{,}5–2{,}4$ között változott. Ezekkel a változó A és B tényezőkkel nyert összefüggések a 23. ábrán láthatók.

Az adott R nyomószilárdsághoz tartozó módosított víz/cement tényező szükséges értéke ezekről az ábrákról olvasható le, vagy az alábbi összefüggésből számítható:

$$x' = \frac{\ln A - \ln B}{B}$$ (67)

A 23. ábrán láthatók a (66) szerinti közelítő összefüggéssel az $R_c = 45{,}8\ N/mm^2$ és $R_c = 60{,}5\ N/mm^2$ szélső kötőerőkből számítható nyomószilárdságot jellemző görbék is. Megállapítható, hogy a közelítő összefüggéssel, illetve a vizsgálatok eredményei alapján megállapított A és B tényezőket tartalmazó összefüggésekkel számított nyomószilárdságok eltérése $x' < 0{,}6$ mellett ± 4-7 N/mm², $x' > 0{,}6$ mellett ± 2-3 N/mm². Ebből következik, hogy a közelítő (66) képlettel számítható nyomószilárdság a ténylegestől legfeljebb ± 10 %-kal tér el. Ha azonban nem ismerjük a cement tényleges kötőerejét, hanem a névleges kötőerőt vesszük alapul, akkor az eltérés nagyobb lehet.

Mivel a hazai cementek tényleges kötőereje legalább 10 %-kal nagyobb, mint az MSZ 4702-ben megengedett minimális érték, ezért javasolható, hogy a betonösszetétel tervezéséhez a névleges kötőerőt 5 N/mm²-rel meghaladó R_c értéket vegyünk figyelembe. Ennek megfelelően a közelítő számításokhoz a következő A értékek használhatók fel:



23. ábra: A beton nyomószilárdsága az Ujhelyi-féle módosított víz/cement tényezőtől függően különböző cementekkel készített betonokra

- 250 cement: $A = 2,4 \times 30 = 72$
- 350 cement: $A = 2,4 \times 40 = 96$
- 450 cement: $A = 2,4 \times 50 = 120$
- 550 cement: $A = 2,4 \times 60 = 144$

A beton összetételét úgy kell megválasztani, hogy a fenti *A* értékeket helyettesítjük be a (67) képletbe, kiszámítjuk a szükséges x' módosított víz/cement tényezőt, és a beton tényleges módosított víz/cement tényezője a számítottnál nem lehet nagyobb.

3.4.3. A betonösszetétel meghatározása

A 3.4.1. fejezet szerint a beton összetételét vagy az ismert szilárdsági szórásból a (17) képlettel számított átlagos nyomószilárdság, vagy az adalékanyag jellemzők ismert szórásából az 1. táblázat szerinti minősítési szilárdság kielégítésére kell megtervezni. Mind a két esetben érdemes grafikus eljárást választani.

<u>a) Tervezés az átlagos nyomószilárdságra</u>

A tervezéshez a következő adatokat kell ismerni:

- a felhasználni kívánt cement névleges kötőerejét;
- az adalékanyag *D* legnagyobb szemnagyságát, átlagos (vagy tervezett) finomsági modulusát, egyenlőtlenségi tényezőjét és agyag-.iszap tartalmát;
- az adott készítési feltételek mellet várható V_{lb} (tömörítési hiányosság miatti) lebegőtartalmat;
- gőzölt beton készítésekor a 28 napos viszonylagos szilárdságot.

A betonösszetétel tervezésének a menete a következő:

1. Meg kell határozni az adalékanyag V_{ao} mértékadó térfogatát: $V_{ao} = 1000 - V_{po}$ (68)
   Ennek értéke *FN* konzisztenciájú betonra a 21. ábrából leolvasható V_{po}-ból számítva, *KK* konzisztenciájú betonra + 20 l/m^3, *K* konzisztenciájú betonra + 40 l/m^3, *F* konzisztenciájú betonra + 60 l/m^3 értéket hozzáadva a 21. ábráról leolvasott V_{po}-hoz.
2. Ki kell számítani az adalékanyag m_{ao} mértékadó tömegét a (14) képletből, azaz $m_{ao} = 2,64 \times V_{ao}$.
3. Ki kell számítani az adalékanyag w_{ao} vízigényét a (7) – (10) kifejezésekből, illetve a w_a vízigényt a (11) kifejezésből.
4. Ki kell számítani az alapvízmennyiség m_{wo} értékét a (15) kifejezésből, azaz $m_{wo} = m_{ao} \times w_a \times 0,01$. Az alapvízmennyiség változatlan, amíg a cementtartalom legfeljebb a 4. táblázatban megadott mennyiségű. Ezt meghaladó cementtartalmú betonhoz keverendő vízmennyiséget az (50) kifejezésből kell kiszámítani, azaz $m_w = m_{wo} + (m_c - m_{co}) \times 0,01 \times w_c$.
5. Fel kell venni a beton cementtartalmát 125 és 500 kg/m^3 között (ez a cementtartalom MI szerint megengedett szélső értéke), célszerűen 50 kg/m^3 lépcsőkben és kiszámítani a víz- és az adalékanyagtartalmat. Ehhez meg kell határozni a péptartalmat a (33) képletből, azaz $V_p = V_c + V_w$. A víztartalom a 4. pont szerinti, az adalékanyag tartalom pedig mindaddig a 2. pont szerinti m_{ao}, amíg $V_p \leq V_{po}$. Ha $V_p > V_{po}$,
   $$m_a = (1000 - V_p) \times 2,64 \text{ kg/m}^3 \quad (69)$$
6. Ki kell számítani a különböző cementtartalmú betonok víz/cement tényezőjét a (49) képletből, azaz $x = m_w/m_c$.
7. Ki kell számítani a módosított víz/cement tényezőket az (51), illetve az (52) vagy (53) képletekből, feltételezve, hogy a beton hiánytalanul van tömörítve, tehát $V_{lb} = 0$.
8. Ki kell számítani a különböző cementtartalmú, hiánytalanul tömörített betonok nyomószilárdságát a (66) képletből.

9. A rendelkezésre álló korábbi adatok alapján fel kell venni a gyakorlatban feltételezhető, nem kielégítő tömörítés miatt várható, V_{lb} levegőtartalmat. Ha erre vonatkozó tapasztalat nincs, akkor V_{lb} értékeit a 24. ábrából lehet leolvasni.

10. Meg kell határozni a hiányosan tömörített betonok összetételét az alábbi szorzótényezők segítségével:

ha $V'_p < V_{po}$, akkor $$y = \frac{(V'_a + V'_p) - V_{lb}}{V'_a + V'_p} \quad (70)$$

ha $V'_p \geq V_{po}$, akkor $$y = \frac{1000 - V_{lb}}{1000} \quad (71)$$

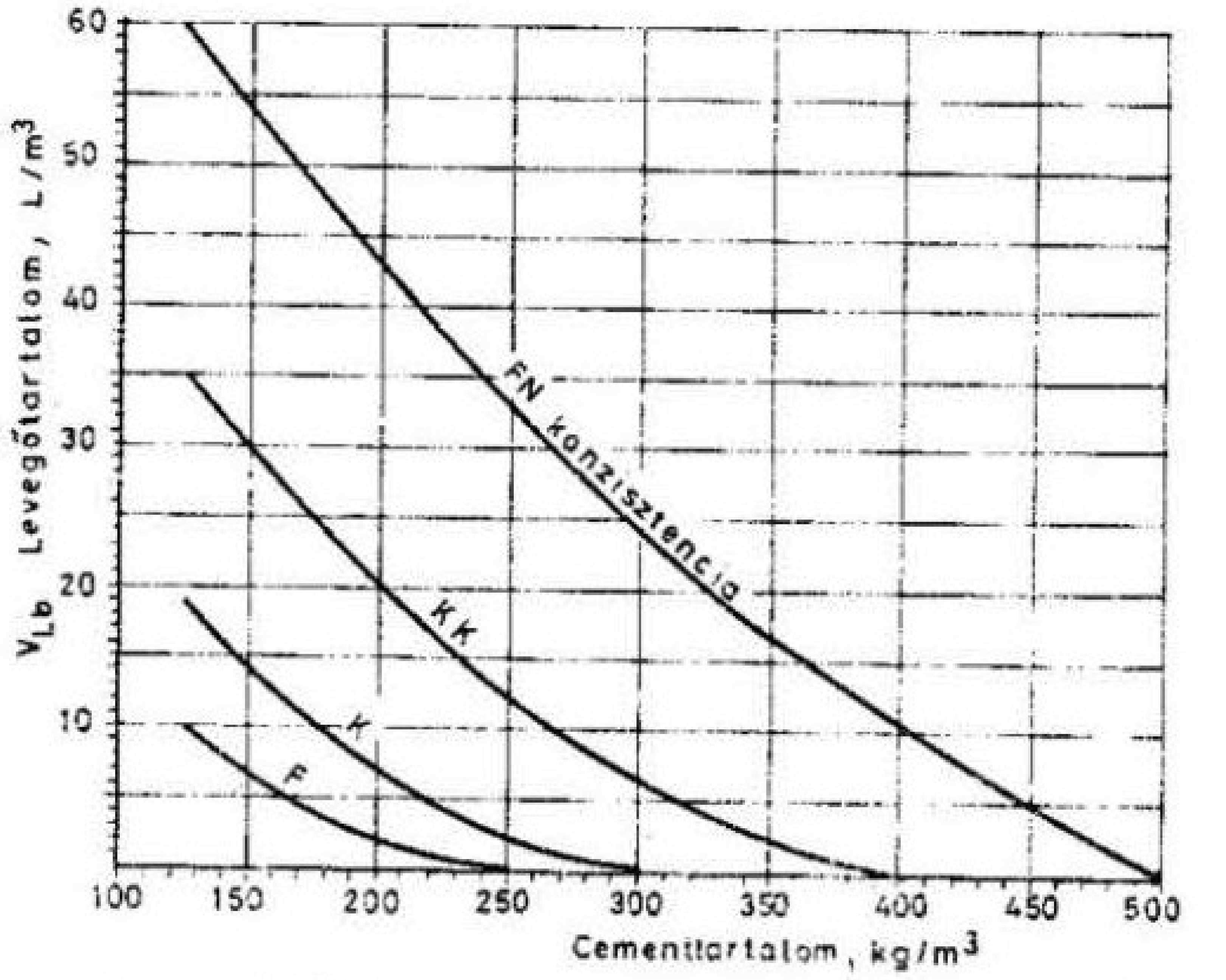
és az alkotóanyagok mennyisége:

$$m_c = y + m'_c \quad (72)$$

$$m_w = y + m'_w \quad (73)$$

$$m_a = y + m'_a \quad (74)$$

11. Ki kell számítani a víz/cement tényező és a péptartalom $x \,.\, V_p$ szorzatát.
12. Ki kell számítania módosított víz/cement tényezőket az (51), illetve az (52) vagy (53) képletekből.
13. Ki kell számítani a különböző cementtartalmú, hiányosan tömörített betonok nyomószilárdságát a (66) képletből.



24. ábra: A különböző konzisztenciájú és cementtartalmú betonok hiányos tömörítés miatt várható V_{lb} levegőtartalma

14. Az adatokból nomogramot kell szerkeszteni a cementtartalom, nyomószilárdság, víztartalom és adalékanyag tartalom összefüggésére, amelyről bármely szilárdsághoz tartozó betonösszetétel leolvasható.

A betonösszetétel grafikus meghatározásának a módja az alábbi példán követhető:

PÉLDA

7. táblázat: Hiánytalanul tömörített betonok (D=24 mm, $\bar{U}$=26,4, $\bar{f}$=4,1 %, $\bar{m}$= 6,11; váci 350kspc20, KK konzisztencia)

m'_c	m'_w	m'_a	x	V'_p	x'	R
kg/m³						N/mm²
125	147,1	2098,8	1,177	187,4	1,278	9,6
150	147,1	2098,8	0,981	195,5	1,027	15,1
200	147,1	2081,3	0,736	211,6	0,759	24,5
250	150,1	2030,8	0,600	230,7	0,667	28,9
300	157,6	1968,4	0,525	254,4	0,627	31,1
350	165,1	1906,1	0,472	278,0	0,596	32,8
400	172,6	1843,7	0,432	301,6	0,570	34,4
450	180,1	1781,3	0,400	325,3	0,548	35,8
500	187,6	1718,9	0,375	348,9	0,530	37,0

A rendelkezésre álló homokos kavics $D = 24$ mm, átlagos adatai: $\bar{m} = 6{,}11$; $\bar{U} = 26{,}4$ és $\bar{f} = 4{,}1$ térfogat %. Ennek megfelelően $V_{ao} = 1000 - 185 = 815$ l/m³ (a 21. ábrából leolvasva) FN konzisztenciához. A cement váci 350kspc20, ezért a (66) képletben $A = 2{,}4 \times 40 = 96$,tehát: $R = 96 \times \exp - (1{,}8 \,.\, x')$.

Készítendő kissé képlékeny konzisztenciájú beton, ennek pépigénye: $V_{po} = 185 + 20 = 205$ l/m³, mértékadó térfogata: $V_{ao} = 795$ l/m³ és mértékadó tömege: $m_{ao} = 2098{,}8$ kg/m³. Az adalékanyag vízigénye a (8) képletből: $w_{ao} = 6{,}734$ %, illetve $f = 4{,}1$ miatt a (11) képletből: $w_a = 7{,}009$ %, az alapvízmennyiség tehát $m_{wo} = 147.1$ kg/m³.

Ezt a vízmennyiséget kell adagolni, amíg a cementtartalom legfeljebb 230 kg/m³, a többletcementre $w_c = 15$ %-ot kell számítani (4. táblázat).

8. táblázat: Hiányosan tömörített betonok összetétele

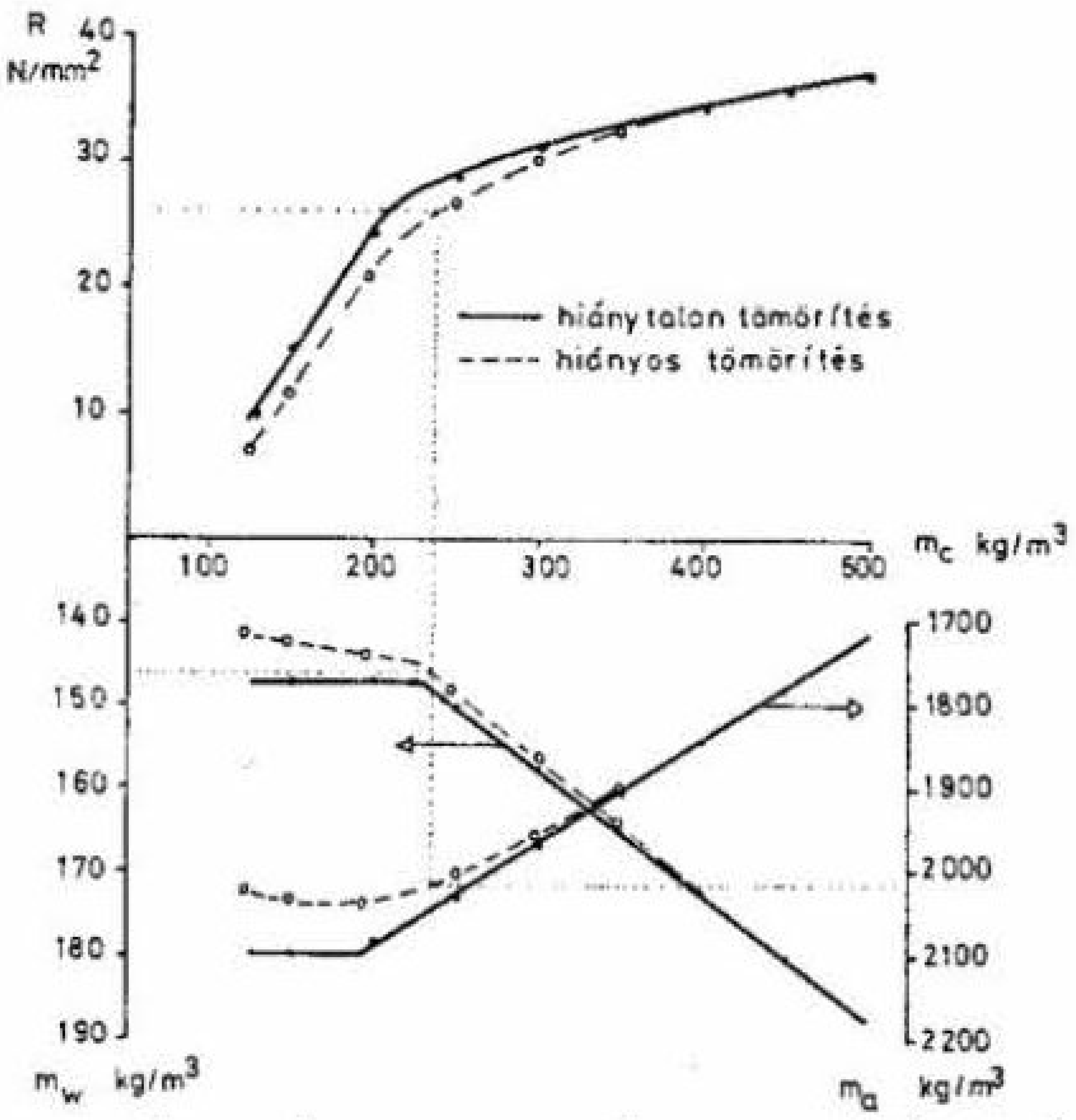
V_{lb}	m_c	m_w	m_a	V_p	$x \cdot V_p$	x'	R
l/m³	kg/m³			l/m³			N/mm²
35	120,5	141,9	2024,0	180,7	212,7	1,472	6,8
30	145,5	142,6	2035,2	189,6	166,0	1,185	11,4
20	196,0	144,2	2040,0	207,4	152,6	0,855	20,6
12	247,0	148,3	2006,4	227,9	136,8	0,719	26,3
6	298,2	156,7	1956,6	252,9	132,8	0,651	29,8
2	349,3	164,8	1902,3	277,4	131,0	0,603	32,4
0	400	172,6	1843,7	301,6	130,3	0,570	34,4
0	450	180,1	1781,3	325,3	130,1	0,548	35,8
0	500	187,6	1718,9	348,9	130,8	0,530	37,0

A számítás eredményeit a 7. táblázatban lehet látni jó tömörítés esetére.

A hiányos tömörítés miatt várható levegőtartalmakat a 24. ábráról lehet leolvasni, míg az ehhez tartozó betonösszetételeket a (70) – (74) képletekből lehet kiszámítani. Ebből állapítható meg a V_p péptartalom, az $x \,.\, V_p$ szorzat és a módosított víz/cement tényező, illetve a nyomószilárdság. Az adatokat a 8. táblázat foglalja össze.

A számítások eredményeit a 25. ábrának megfelelően célszerű nomogramban feldolgozni, amelyről bármely nyomószilárdsághoz tartozó betonösszetétel leolvasható. Ha pl. az üzemi szórás $s = 4$ N/mm² és C16 szilárdsági jelű betont kell készíteni, akkor a (17) képlet szerint 20 cm-es kockán értel-

mezve $R = 19 + k \times 1,645 \times 4 = 19 + 1,07 \times 1,645 \times 4 = 26,0\ N/mm^2$.



25. ábra: A betonösszetétel számítási adatainak grafikus feldolgozása

Az ehhez tartozó betonösszetétel a 25. ábráról leolvasva $m_c = 236\ kg/m^3$, $m_w = 146\ kg/m^3$ és $m_a = 2020\ kg/m^3$.

A leolvasás adatai ellenőrizhetők:

$V_c = 76,1\ l/m^3$ $\quad V_p = 222,1\ l/m^3$

$V_a = 765,2\ l/m^3$ $\quad V_{lb} = 12,7\ l/m^3$

$V'_p = 225\ l/m^3$ $\quad x = 0,619$

$x.V_p = 137,5$

tehát:

$x' = 0,731$ és $R = 25,7\ N/mm^2$

b) Tervezés a minősítési szilárdságra

Az átlagos nyomószilárdságra való tervezéshez képest csak az alapadatokban van különbség, mert az adalékanyag egyenletességét is ismerni kell, vagyis a finomsági modulus (57) képletből számítható szórását, az egyenlőtlenségi tényező (59) képletből és az agyag-iszap tartalom (61) képletből számítható szórását, illetve ezeknek a jellemzőknek a (62)-(64) képletek szerinti küszöbértékét. A számításokhoz a küszöbértéket kell figyelembe venni.

A betonösszetétel tervezésére az alábbi példa ad útmutatást:

PÉLDA:

A felhasználandó $D = 24$ *mm-es* adalékanyag korábbi vizsgálataiból az alábbi 14 adat áll rendelkezésre (nagyság szerint rendezve):

- finomsági modulus: *5,6; 5,7; 5,8; 5,9; 5,9; 6,0; 6,1; 6,1; 6,2; 6,3; 6,4; 6,4; 6,5* és *6,6*
- egyenlőtlenségi tényező: *16, 18, 20, 22, 23, 25, 27, 28, 28, 29, 31, 32, 34* és *36*
- agyag-iszap tartalom: *2,0; 2,5; 2,5; 3,0; 3,5; 3,5; 4,0; 4,0; 4,5; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0* és *6,5*

Az (56)-(64) képletekkel a fenti adatokból kiszámítható matematikai-statisztikai jellemzők a következők:

- a finomsági modulusra: $\bar{m} = 6,11$; $s_m = 0,308$ és $m_k = 5,6$
- az egyenlőtlenségi tényezőre: $\bar{U} = 26,4$; $s_U = 6,0$ és $U_k = 36,3$
- az agyag-iszap tartalomra: $\bar{f} = 4,1$; $s_f = 1,36$ és $f_k = 6,3$

A minősítési szilárdságra való tervezéskor az adalékanyag fenti m_k, U_k és f_k értékeit kell alapul venni. A pépigény tehát a 21. ábra szerint $m_k = 5,6$ és $U_k = 36,3$ mellett FN konzisztenciára: $V_{po} = 201\ l/m^3$.

Készítendő váci 350kspc20 cementtel kissé képlékeny konzisztenciájú beton. A (66) képletben tehát $A = 40 \times 2,4 = 96$, így: $R = 96 \times exp - (1,8 \times x')$

A kissé képlékeny konzisztenciájú betonban az adalékanyag pépigénye $V_{po} = 201 + 20 = 221\ l/m^3$, a mértékadó adalékanyag térfogat a (68) képletből: $V_{ao} = 1000 - 221 = 779\ l/m^3$ és a mértékadó tömeg a (14) képletből: $m_{ao} = 779 \times 2,64 = 2056,6\ kg/m^3$.

Az adalékanyag vízigénye a (8) képletből: $w_a = 21,5 \times exp - (0,19 \times 5,6) = 7,42\ \%$, az $f_k = 6,3$ *térf. %* agyag-iszap tartalom mellett pedig $w_a = 7,42 + (6,3 - 3) \times 0,25 = 8,25\ \%$. Az alapvízmennyiség a (15) képletből: $m_{wo} = 2056,6 \times 8,25 \times 0,01 = 169,7\ kg/m^3$. A 4. táblázat szerint ezt a vízmennyiséget kell adagolni mindaddig, amíg a cementtartalom legfeljebb 230 kg/m³, a többletcementre az (50) képletnek megfelelően $w_c = 15\ \%$ többletvizet kell számítani.

A számítás eredményeit hiánytalanul tömörített betonokra a 9. táblázat foglalja össze.

9. táblázat: Hiánytalanul tömörített betonok (D=24 mm, m_k=5,6; U_k=36,3; f_k=6,3; váci 350kspc20, KK)

m'_c (kg/m³)	m'_w (kg/m³)	m'_a (kg/m³)	x	V'_p	x'	R N/mm²
125	169,7	2056,6	1,358	210,0	1,426	7,4
150	169,7	2056,6	1,131	218,1	1,146	12,2
200	169,7	2021,7	0,849	234,2	0,897	19,1
250	172,7	1971,2	0,691	253,3	0,779	23,6
300	180,2	1908,8	0,601	277,0	0,723	26,1
350	187,7	1846,4	0,536	300,6	0,678	28,3
400	195,2	1784,0	0,488	324,2	0,643	30,2
450	202,7	1721,6	0,450	347,9	0,614	31,8
500	210,2	1659,3	0,420	371,5	0,590	33,2

A hiányos tömörítés miatt várható levegőtartalmakat a 24. ábráról lehet leolvasni, míg az ehhez tartozó betonösszetételeket a (70)-(74) képletekből lehet kiszámítani. Ebből meghatározható a V_p péptartalom, az $x.V_p$ szorzat és a módosított víz/cement tényező, illetve a nyomószilárdság.

A számítás eredményeit a 10. táblázat foglalja össze. A cement, víz és adalékanyag tartalmat a (34)-(36)

10. táblázat: Hiányosan tömörített betonok összetétele a 9. táblázat adataiból számítva

V_{lb} l/m³	m_c kg/m³	m_w kg/m³	m_a kg/m³	V_p l/m³	$x \cdot V_p$	x'	R N/mm²
35	120,6	163,7	1983,8	202,6	275,1	1,598	5,4
30	145,5	164,6	1994,7	211,5	239,2	1,288	9,4
20	196,0	166,3	1981,3	229,5	194,9	0,983	16,3
12	247,0	170,6	1947,5	250,3	172,9	0,827	21,7
6	298,2	179,1	1897,3	275,3	165,5	0,744	25,1
2	349,3	187,3	1842,7	300,0	160,8	0,685	28,0
0	400	195,2	1784,0	324,2	158,2	0,643	30,2
0	450	203,7	1721,6	347,9	156,6	0,614	31,8
[illegible]	500	210,2	1659,3	371,5	156,0	0,590	33,2

képletekkel lehet meghatározni.

A számítások eredményeiből szerkesztett nomogramot a 26. ábra mutatja be. Ha a beton előírt szilárdsági jele *C16*, akkor az 1. táblázat szerint ehhez $R_{k,20,nom} = 19\ N/mm^2$ tartozik, amelyet a 26. ábra szerint $m_c = 220\ kg/m^3$ cementtartalommal, $m_w = 167\ kg/m^3$ víztartalommal és $m_a = 1969\ kg/m^3$ adalékanyag tartalommal lehet előállítani.

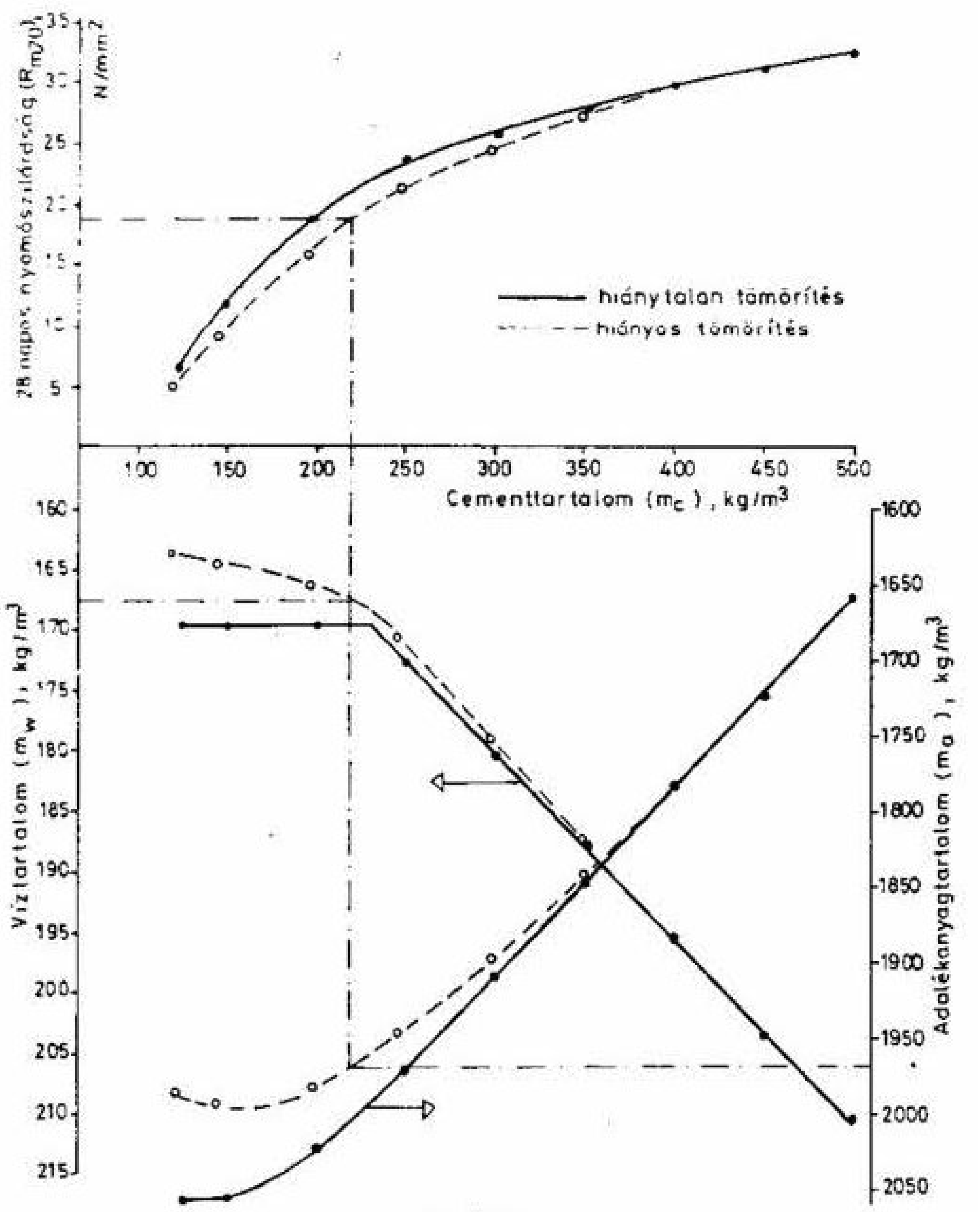
A számítás ellenőrzése:

$V_p = 238\ liter/m^3$ és $V_a = 746\ liter/m^3$ tehát

$$V_{lb} = 1000 - (238 + 746) = 16\ liter/m^3$$

A víz/cement tényező: $x = 0{,}759$ és $x.V_p = 180{,}6$ míg $V'_p = 241{,}9\ liter/m^3$.

Ezekből az adatokból: $x' = 0{,}89$ és $R = 19{,}3\ N/mm^2$.



26. ábra: A betonösszetétel számítási eredményeinek grafikus feldolgozása

3.4.4. A szilárdság előbecslése

A beton tervezett összetételét gyártás közben szükséges lehet módosítani, ha az alkotóanyagok minősége, vagy a beton készítési körülményei megváltoznak. A szilárdság előbecslésének az a célja, hogy az alkotóanyagok vizsgálatakor és a technológia ellenőrzésekor tapasztalt eltérések hatását a beton nyomószilárdságára a lehető legkorábban fel lehessen mérni, valamint az esetlegesen szükséges beavatkozásról (pl. a betonösszetétel módosításáról) dönteni lehessen. A szilárdság elbecsléséhez ugyanúgy a (66) képletet lehet felhasználni, mint a betonösszetétel tervezéséhez.

A szilárdság előbecslése annál megbízhatóbb, mennél gyakoribb és mennél pontosabb gyártásközi vizsgálat eredménye áll rendelkezésre. Elsősorban az adalékanyag jellemzőit, a mérlegelés pontosságát, a friss betonkeverék konzisztenciáját és a betömörített friss beton tömörségét kell rendszeresen ellenőrizni. Az ellenőrzés eredményeit felhasználva azonnal ki kell számítani a beton várható nyomószilárdságát.

A betonszilárdság előbecslésének a megbízhatósága a rendelkezésre álló adatok megbízhatóságától függ. Ha a gyártásközi vizsgálatok eredményei megbízhatóak, akkor mindaddig nem szükséges beavatkozni a beton készítésébe, amíg a becsléssel kapott szilárdság eléri vagy meghaladja az előírt minősítési szilárdságot.

Ha a beton összetételét a (66) képlettel az átlagos nyomószilárdságra tervezik, akkor célszerű meghatározni előre a készítési paramétereknek azokat a határértékeit, amelyeken belül a tervezett betonösszetételt nem szükséges módosítani. Ehhez ad számítási alapot a (67) képlet: a beton előírt minősítési szilárdságát behelyettesítve a módosított víz/cement tényező legnagyobb értékét kapjuk. Azt kell tehát megvizsgálni, hogy különböző készítési paraméterek felvételével hogyan változik a módosított víz/cement tényező. A készítési paraméterek közül célszerű megvizsgálni az adalékanyag finomsági modulusának, egyenlőtlenségi tényezőjének és agyagiszap tartalmának, továbbá a hiányos tömörítésnek a hatását.

A számításhoz az alábbi példa ad támpontot.

PÉLDA

Legyen a készítendő beton a 3.4.3. fejezet a) pontja szerint *C16* szilárdsági jelű, kissé képlékeny konzisztenciájú, amelyhez $D = 24\ mm$-es, átlagosan $\overline{m} = 6{,}11$ finomsági modulusú, $\overline{U} = 26{,}4$ egyenlőtlenségi tényezőjű, és

$\bar{f}$ = *4,1 térf.%* agyag-iszap tartalmú homokos kavics, továbbá váci 350kspc20 kohósalak portlandcement áll rendelkezésre. A beton tervezett összetétele: $m_c = 236\ kg/m^3$, $m_w = 146\ kg/m^3$, $m_a = 2020\ kg/m^3$. A beton feltételezett levegőtartalma a tömörítési hiány miatt: $V_{LB} = 13\ liter/m^3$.

Ha a beton szilárdságát 20 cm élhosszúságú próbakockákkal ellenőrzik, akkor a minősítési szilárdság előírt értéke az 1. táblázat szerint $R_{k,20,nom} = 19\ N/mm^2$, a módosított víz/cement tényező megengedhető legnagyobb értéke tehát a (67) képletből: $x = (\ln 96 - \ln 19) / 1,8 = 0,9$.

11. táblázat: Az agyag-iszap tartalom változásának hatása (D=24 mm, m=6,11; V_{po}=205 l/m³, váci 350kspc20, KK)

f térf. %	v_a töm. %	m_c (kg/m³)	m_w (kg/m³)	m_a (kg/m³)	V_p (l/m³)	V'_p (l/m³)	x	x'	R N/mm²
4,1	7,009	236	146	2020	222,1	225,0	0,619	0,733	25,7
5,0	7,234	233,6	150,6	2009,0	226,o	229,0	0,645	0,770	24,0
6,0	7,484	232,1	156,1	1995,8	231,o	234,1	0,673	0,813	22,2
7,0	7,734	230,7	160,8	1984,7	235,2	238,3	0,697	0,850	20,8
8,0	7,984	229,4	165,8	1972,6	239,8	243,0	0,723	0,890	19,3

12. táblázat: A finomsági modulus változásának a hatása (D=24 mm, V_{po}=205 l/m³, f= 4,1 térf.%, váci 350kspc20, KK)

m	v_a tömeg %	m_c (kg/m³)	m_w (kg/m³)	m_a (kg/m³)	V_p (l/m³)	V'_p (l/m³)	x	x'	R N/mm²
6,11	7,009	236	146	2020	222,1	225,0	0,619	0,733	25,7
6,0	7,151	234,1	149	2012,9	224,5	227,5	0,637	0,758	24,5
5,8	7,417	232,5	154,1	2000,7	229,1	232,1	0,663	0,797	22,9
5,6	7,694	231,1	159,9	1986,8	234,4	237,5	0,692	0,842	21,1
5,4	7,981	229,5	165,6	1973,0	239,6	242,8	0,722	0,889	19,4
5,3	8,129	228,6	168,5	1966,2	242,2	245,4	0,737	0,912	18,6

13. táblázat: A tömörítés változásának a hatása (D=24 mm, m=6,11; f= 4,1 térf.%, V_{po}=205 l/m³, váci 350kspc20, KK)

V_{lb} l/m³	m_c (kg/m³)	m_w (kg/m³)	m_a (kg/m³)	V_p (l/m³)	V'_p (l/m³)	x	x'	R N/mm²
0	239,1	147,9	2046,6	225	225	0,619	0,674	28,5
13	236	146	2020	222,1	225	0,619	0,733	25,7
25	233,1	144,2	1995,4	219,4	225	0,619	0,788	23,2
40	229,5	142,0	1964,7	216,0	225	0,619	0,859	20,4
50	227,1	140,5	1944,3	213,8	225	0,619	0,908	18,7

A készítési paraméterek ingadozásának a hatását számítással úgy célszerű előre becsülni, hogy mindig csak egy tényező változzék, a többi változatlan maradjon. Ha pl. az agyag-iszap tartalom változásának a hatását kívánjuk megvizsgálni, változatlanul tartjuk a finomsági modulust ($\bar{m}$ = *6,11)* és az egyenlőtlenségi tényezőt ($\bar{U}$ = *26,4)*, ezzel együtt a pépigényt ($V_{po} = 205\ l/m^3$), valamint a tömörítési hiány miatti levegőtartalmat ($V_{lb} = 13\ l/m^3$). Az agyag-iszap tartalom módosítja a vízigényt a (11) képletnek megfelelően, így számítható a betonösszetétel és a módosított víz/cement tényező. A számítás eredményeit a 11. táblázat foglalja össze.

A táblázat adataival kapcsolatban megjegyzendő, hogy a cement:adalékanyag keverési arány változatlannak tételezhető fel (1:8,559) és csak a vízadagolás növekszik az agyag-iszap tartalomtól függően.

Ha a finomsági modulus változik, akkor ismét változik az adalékanyag vízigénye a (11) képletnek megfelelően, a számított módosított víz/cement tényező értékek és nyomószilárdságok a 12. táblázatban láthatók.

Ha a bedolgozási munka hatékonysága romlik, akkor nő a hiányos tömörítés miatti V_{lb} levegőtartalom. Ennek következtében ismét növekszik a módosított víz/cement tényező és csökken a nyomószilárdság a 13. táblázat szerint.

A számítási eredmények alapján a példa szerinti esetben a *C16* jelű beton megbízható előállítása akkor válik kérdésessé, ha az adalékanyag agyag-iszap tartalma $f > 8$ *térfogat %*, ha a finomsági modulus $m < 5,4$ vagy ha a beton tömörítési hiány miatti levegőtartalma $V_{lb} \geq 50\ liter/m^3$ (5 térfogat %).

4. A BETON KÉSZÍTÉSE

4.1. Az adalékanyag előkészítése

Általában csak az MSZ 18293 szerinti EHK (előírt szemmegoszlású homokos kavics), az OH (osztályozott homok) és OK(osztályozott kavics) termékek használhatók fel eredeti állapotukban, valamint az MSZ 18291 szerinti különböző termékosztályú zúzottkövek, míg a THK (természetes szemmegoszlású homokos kavics) és az NHK (nyers homokos kavics) termékeket sok esetben javítani kell annak érdekében, hogy

- a legnagyobb szemnagysága feleljen meg a szerkezet geometriájának és a vasalás sűrűségének;
- a betonszilárdságnak a cementadagolás ingadozása miatti szórását korlátozni lehessen;
- a szennyezettség ne lépje túl a megengedett mértéket és
- megfelelő összetartóképességű, vérzés és szétosztályozódás mentes , jól bedolgozható betonkeveréket lehessen készíteni.

Ez a tevékenység az adalékanyag-előkészítés, amelyet az adalékanyag rendszeres vizsgálata segítségével lehet gazdaságosan végrehajtani.

Az agyag-iszap tartalom a leggyakoribb adalékanyag szennyeződés. Hatásáról a 17. és 18. ábra tájékoztat. Eltávolítása azonban egyszerű munkahelyi berendezésekkel veszélyes (pl. Decolt-szalag, lépcsős faválýú stb.) a beton összetartó képességéhez szükséges 0,25 mm alatti szemcsék egyidejű kimosása miatt, s ez a veszély még a költséges berendezésekben (Rheax-osztályozó, hidrociklon) is fennáll. Laboratóriumi körülmények között ugyan a csekély finomrész tartalmú adalékanyagból – kis vízigénye miatt – nagy nyomószilárdság érhető el, de gyenge víztartóképességét csak többletcementtel lehet ellensúlyozni, azért alkalmazása nem gazdaságos.

Erre tájékoztatást ad az adalékanyag mértékadó térfogatának a (12) képletből meghatározható értéke. Például a 2. ábra szerinti $m = 6{,}22$ finomsági modulusú lépcsős adalékanyag egyenlőtlenségi tényezője: $U = 78{,}9$, ezért mértékadó térfogata a (12) képletből $V_{ao} = 811\ l/m^3$, tehát tömör beton készíthető $V_p = 189\ l/m^3$ péptartalommal. A 2. ábra szerinti homokszegény adalékanyag (változatlanul $m = 6{,}22$) egyenlőtlenségi tényezője a (4) képlet szerint $U = 12{,}7$, tehát mértékadó térfogata $V_{ao} = 742\ l/m^3$, következésképpen tömör betonhoz legalább 258 l/m^3 cementpép szükséges.

Ha kissé képlékeny betont kívánunk készíteni, akkor a (8) képlet szerint az adalékanyag vízigénye $w_a = 6{,}595\ \%$, ezért a (15) képlet szerint lépcsős homokos kavicshoz $m_{wo} = 141\ kg/m^3$, homokszegényhez $m_{wo} = 129\ kg/m^3$ vizet kell adagolni, így a tömör betonhoz szükséges cementtartalom lépcsős (homokdús) adalékanyagra $m_c = (189\text{-}141) \times 3{,}1 = 146\ kg/m^3$, homokszegény adalékanyagra $m_c = (258\text{-}129) \times 3{,}1 = 400\ kg/m^3$. Meg kell jegyezni, hogy ez a példa nem a szilárdság, hanem a beton összetartó képessége szempontjából vizsgálta a szükséges cementtartalmat azért, hogy számszerűsítse az adalékanyag finomhomok tartalmának a jelentőségét.

Osztályozatlan (NHK vagy THK) homokos kavicsból nem lehet egyenletes minőségű betont készíteni, de gyakori szemmegoszlás vizsgálat révén meg lehet határozni az adalékanyag gazdaságos munkahelyi javításának a módját.

Ha a szemmegoszlás azért kedvezőtlen, mert a finom szemek mennyisége túl kevés, csak sok cementtel lehetne elérni az 5. táblázat szerinti finomrésztartalmat, akkor az adalékanyagot 0-0,25 vagy 0-1 mm-es agyagmentes homok vagy kőliszt hozzákeverésével kell megjavítani. A szükséges –adalékanyag szállítmányként változó – mennyiségű kőliszt adagolásához elengedhetetlen a rendszeres minőség-ellenőrzés.

Ha a szemmegoszlás azért kedvezőtlen, mert kevés az adalékanyagban a kavics, sok a homok, akkor az ebből eredő magas vízigényt durva javító szemcsecsoport adagolásával lehet mérsékelni.

Gondos, rendszeres minőségellenőrzés mellett adagolt javító frakcióval (vagy javító frakciókkal) a THK termék használata mellett is leszorítható a finomsági modulus (57) szerinti szórása $s_m = 0{,}2 - 0{,}4$ értékűre s így javítható a szilárdság (és egyéb betontulajdonságok) egyenletessége.

A szemszerkezet javításának a módszere a hivatkozott szakkönyvekben megtalálható.

A beton keverési aránya mindig a száraz adalékanyagra vonatkozik és ennek megfelelően a keverési utasításban előírt adalékanyag-tömeg is a száraz anyag tömegét jelenti. Ha az adalékanyag nedvességet is tartalmaz, akkor a keverési utasítást módosítani kell.

Jelöljük a keverési utasításban előírt adalékanyag tömeget m_{ae} , a víz tömegét m_{we} jellel. Ha az adalékanyag $n_a\ \%$ nedvességet tartalmaz, akkor változatlan betonösszetétel elérése érdekében:

$$m_a = m_{ae} \times (1 + 0{,}01 \times n_a) \quad kg \tag{70}$$

adalékanyag tömeget kell adagolni az előírt m_{ae} tömeg helyett, a víz adagolandó tömegét pedig:

$$m_w = m_{we} - m_{wa} \quad kg \tag{71}$$

értékűre kell csökkenteni, ahol

$$m_{wa} = m_a - m_a /(1 + 0{,}01 \times n_a) = m_a \times [1 - 1 / (1 + 0{,}01 \times n_a) \tag{72}$$

PÉLDA

A keverési utasítás 0,5 m^3 betonra a következő: $m_{ce} = 124\ kg$ $m_{we} = 52\ kg$ $m_{ae} = 990\ kg$

Az adalékanyag nedvességtartalma: $n_a = 3$ *tömeg %.*

A keverési utasítást a következőképpen kell módosítani:

- cementadagolás : $m_c = m_{ce} = 124\ kg$
- adalékanyag adagolás a (70) képletből: $m_a = 990 \times (1 + 0{,}01 \times 3) = 1019{,}7 \sim 1020\ kg$
- vízadagolás, mivel a (72) képletből az 1020 kg a nedves adalékanyag víztartalma: $m_{wa} = 1020 \times [1\text{-}(1/1{,}03)] = 29{,}7 \sim 30\ kg$ ezért a (71) képletből: $m_w = 72 - 30 = 32\ kg$

Ellenőrzésül kiszámítható a száraz adalékanyag tömege: 1020 – 30 = 990 kg, azaz a keverési utasításnak megfelelő.

Ha az adalékanyag nedvességtartalmát elhanyagolnánk és az eredeti keverési utasítás szerint adagolnánk az alapanyagokat, akkor *990-29 = 961* kg lenne az adalékanyag, tehát $m_c = 124\ kg$, $m_w = 62+29 = 91\ kg$ és $m_a = 961\ kg$ összetételű keveréket készítenénk. Ha a készítési testsűrűség $\gamma_{fb} = 2350\ kg/m^3$, akkor a beton összetétele a (21) – (23) képletekből:

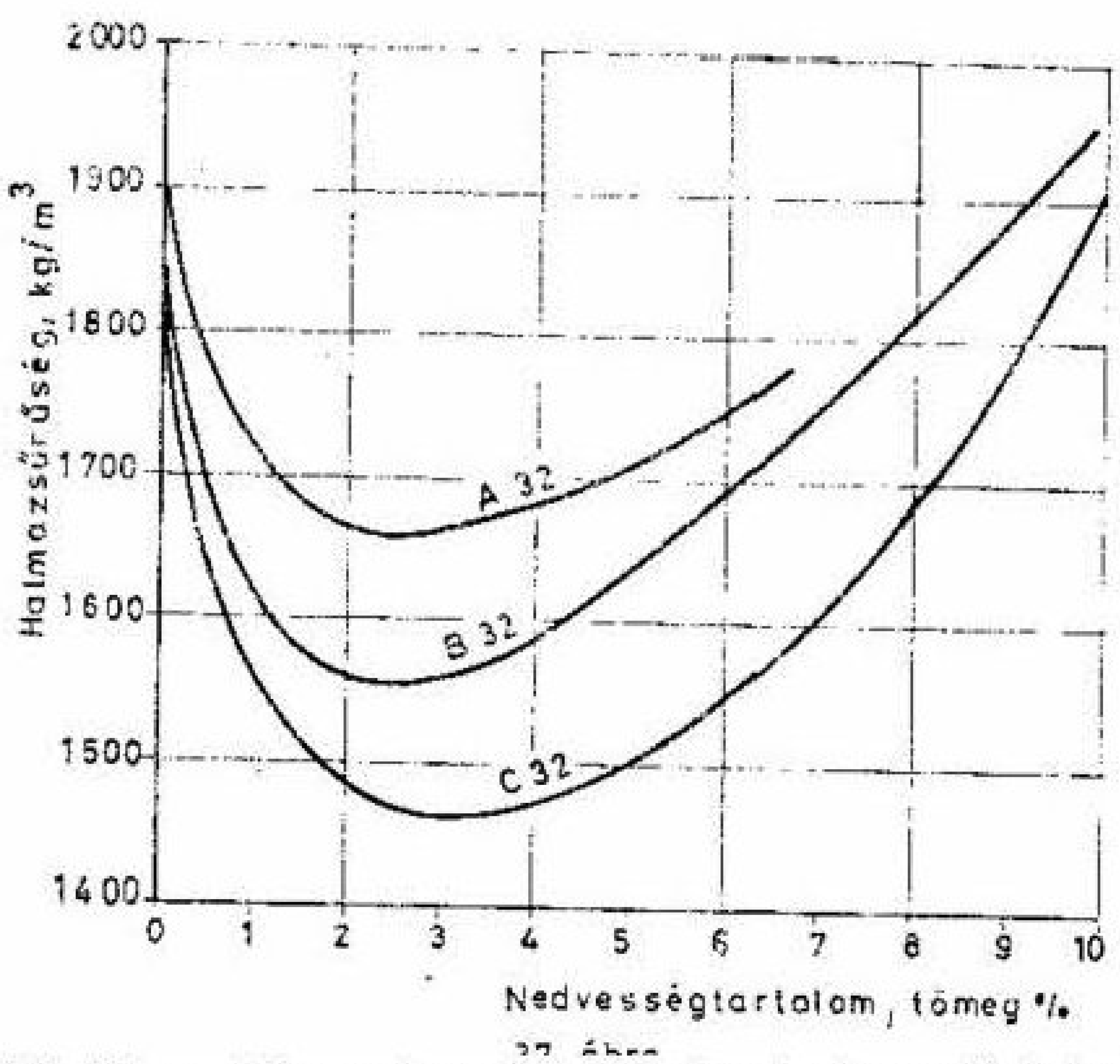
- a nedvességtartalom figyelembevételével: $m_c = 248\ kg/m^3$ $m_w = 124\ kg/m^3$ $m_a = 1978\ kg/m^3$
- a nedvességtartalom elhanyagolásával: $m_c = 248\ kg/m^3$ $m_w = 182\ kg/m^3$ $m_a = 1920\ kg/m^3$

350-es cementtel a megfelelő beton szilárdsága (V_{po} = *250 l/m³* mellett) *R* = *33 N/mm²*, a helytelenül készített betoné: *R* = *24 N/mm²* lenne.

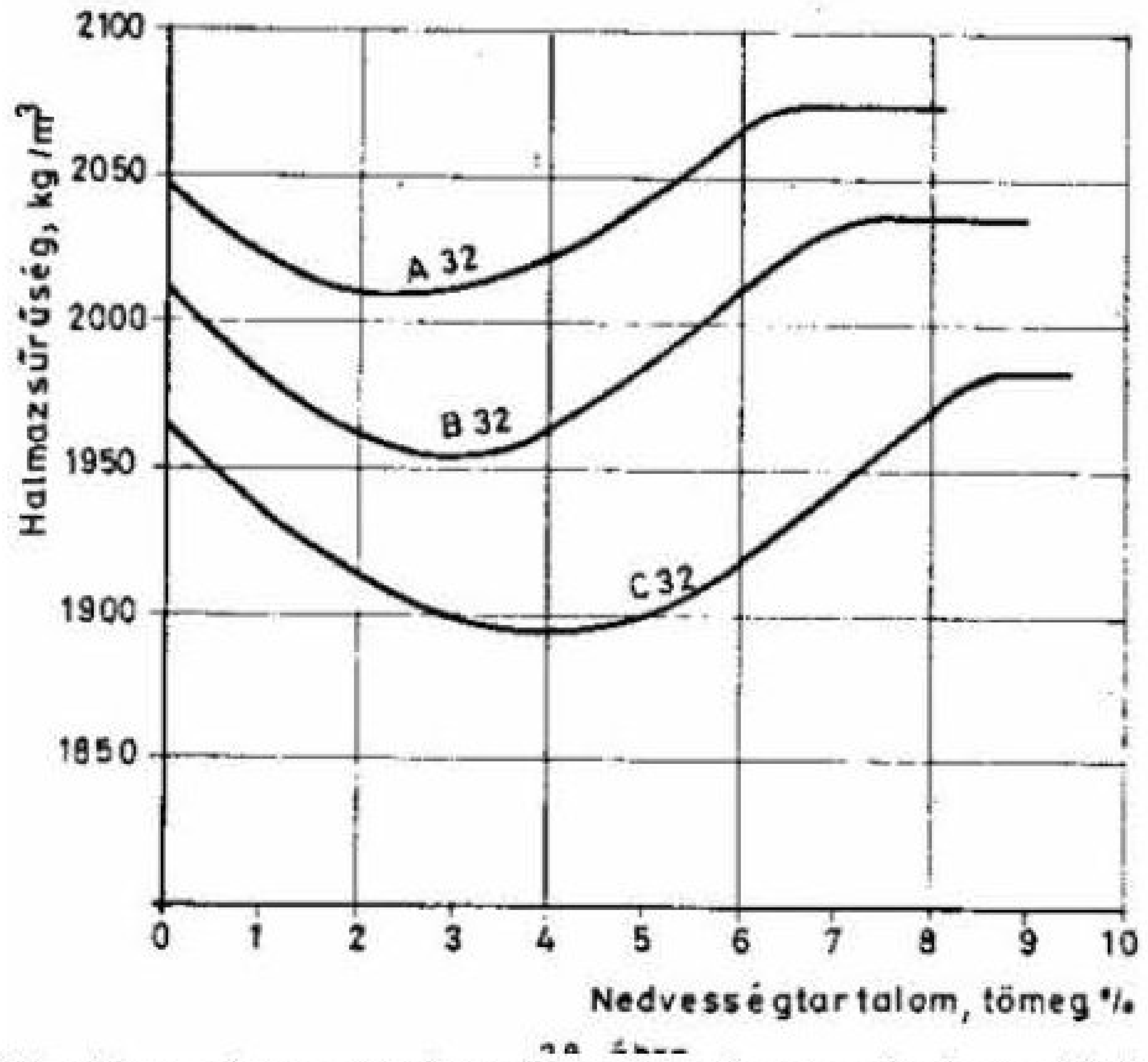
A példa alátámasztja az adalékanyag nedvességtartalma rendszeres ellenőrzésének a fontosságát. A pontos vizsgálathoz meghatározott tömegű (pl. 5 kg) átlagmintát kell tömegállandóságig szárítani, mérve a nedves és a kiszárított minta tömegét. A nedvességtartalom változása közvetett úton is ellenőrizhető a betonkeverék konzisztenciájának a vizsgálatával. Ha viszonylag egyenletes az adalékanyag szemmegoszlása, akkor változatlan vízadagolás mellett a konzisztencia megváltozása elsősorban az adalékanyag nedvességtartalmának a megváltozására utal.

4.2. Az alapanyagok adagolása

A cementet tömeg szerint, a vizet tömeg vagy térfogat szerint kell adagolni. Az adalékanyagra általában előnyösebbnek tartják a tömeg szerinti adagolást a térfogat szerintinél, mert elsősorban a nagy homoktartalmú adalékanyag nedves állapotban, a szemcséket burkoló vízfilm hatására (lásd a 4. ábrát) fellazul. Ennek mértékére a 27. ábra ad tájékoztatást.



27. ábra: A laza homokos kavics halmazsűrűségének a változása a nedvességtartalomtól függően



28. ábra: A tömörödött homokos kavics halmazsűrűségének a változása a nedvességtartalomtól függően

Az ábra olyan halmazok vizsgálati adatait mutatja, amelyeket lazán töltöttek valamely mérő-edénybe. Ha azonban a homokos kavicsot pl. géplapáttal húzzák be egy, a talajszint alatt elhelyezett térfogatmérő edénybe, akkor a nagyobb mennyiségű adalékanyag az edénybe zúdulva már csak saját tömege miatt is tömörödik. Ebben az esetben viszont nem a 27. ábra szerinti összefüggés érvényes, hanem amilyet példaképpen a 28. ábra mutat. Amíg laza állapotban a fellazulás iatti halmazsűrűség változás szélső esetben *1970 – 1470 = 430 kg/m³*, addig tömörödött állapotban a példa szerint *1980–1890 = 90 kg/m³*.

Azokon a munkahelyeken, ahol osztályozatlan adalékanyaggal dolgoznak s a szemmegoszlást legfeljebb 1-2 javító frakcióval teszik egyenletesebbé, továbbá a vízadagolás nem automatikus, hanem a keverőgép kezelője a konzisztencia szemrevételezése alapján zárja vagy nyitja a vízcsapot, ott a tömeg szerinti adalékanyag adagolás a nedvességtartalom vizsgálata nélkül pontatlanabb lehet, mint a térfogat szerinti adagolás.

Ebből az következik, hogy a beton készítésének a teljes folyamatát (a kivitelezési alrendszert) rendszerként kell kezelni, az összefüggések és a kölcsönhatások ismeretében a rendszerelemeket arányosan fejlesztve azonos műszaki színvonalra kell beállítani. Olyan betonkészítési alrendszerben, ahol egy vagy két rendszerelem – pl. az adalékanyag minőség és a vízadagolás – legfeljebb közepes színvonalú, indokolatlan a kapcsolódó rendszerelemben – az adalékanyag adagolásában – korszerű és ezért drága, érzékeny eszközt választani, mert ez nem javítja, hanem esetleg éppen rontja a trendszer működését, a gyártott termék minőségét.

4.3. A beton keverése

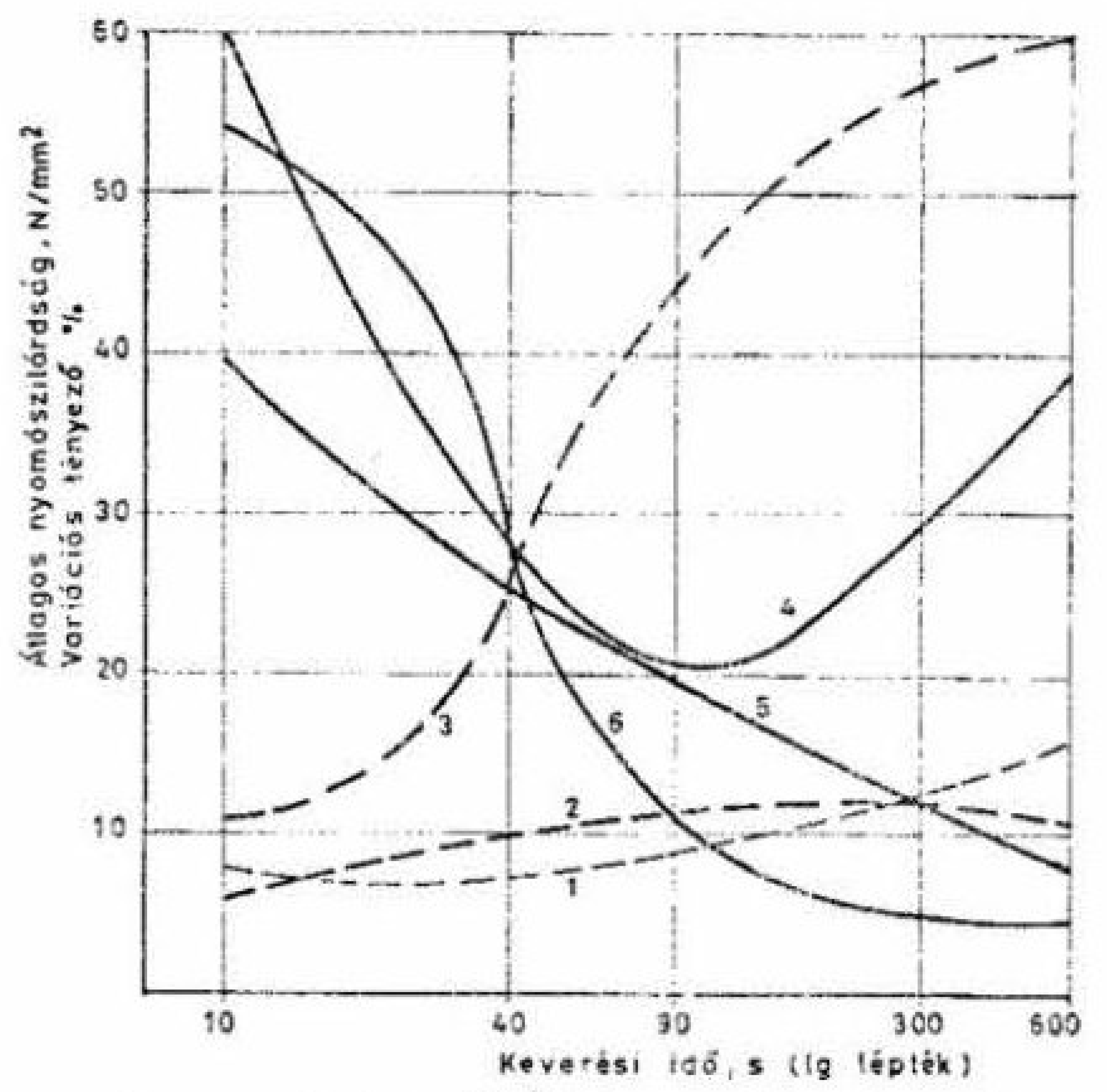
A betonkeverés szabályait az MI 3.3. fejezete foglalja össze. A keverés feltételeit az alkalmazott keverési módszer (eszköz) szabja meg. A beton folyamatos – üzemszerű – keverését csak akkor szabad elkezdeni, ha a felelős vezető (építésvezető, üzemvezető) a keverési utasítást írásban megadja. A keverési utasítást a keverőgép mellett, jól látható helyen, ki kell függeszteni. A keverési utasításban meg kell adni

- a felhasználandó alapanyagok megnevezését, minőségi jellemzőit és mennyiségét a száraz adalékanyagokra számítva,
- a keverés időtartamának megengedhető határértékeit,

- a keverés ellenőrzéséhez szükséges vizsgálatok gyakoriságát (pl. adalékanyag nedvességtartalmának mérése, konzisztencia vizsgálata, mérlegelés ellenőrzése stb.).

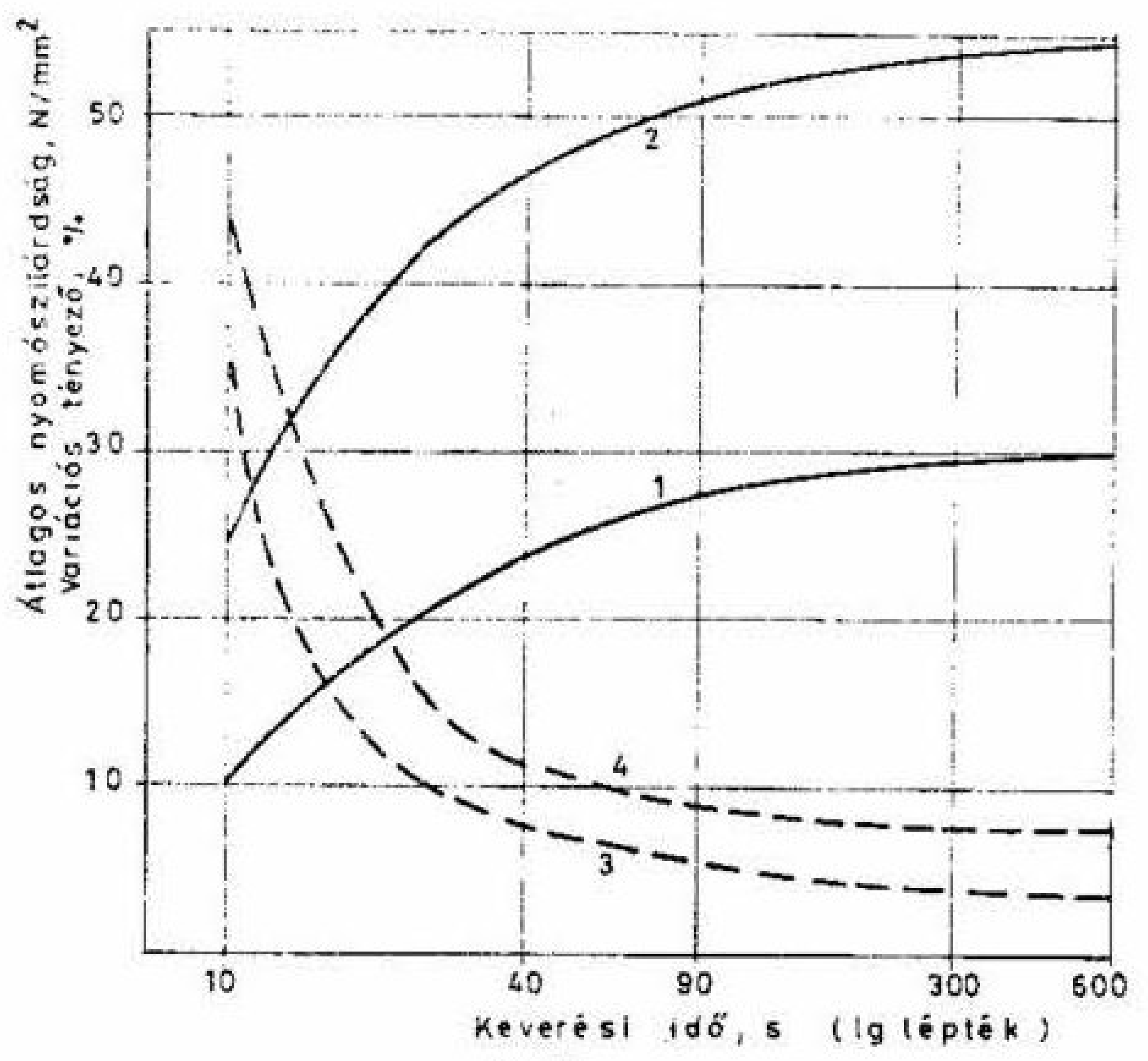
A beton alapanyagait a keveréssel kell gyakorlatilag egynemű anyaggá – betonná – alakítani. A száraz anyagok halmaza különböző méretű szemcsékből és a szemcsék között több-kevesebb levegőből áll. A keverés a levegőt részben kiszorítja a durva szemű adalékanyagból és helyére a finom szemek (cement, finomhomok) kerülnek. Keveréssel érhető el a víz egyenletes eloszlatása, a szemek bevonása vízfilmmel, illetve cementpéppel, csökkentve ezáltal a belső súrlódást. A keverés akkor eredményes, ha

- viszonylag rövid idő alatt végrehajtható,
- a beton alkotórészei kényszerpályán mozognak,
- a keverés befejeztekor kevés levegő marad a betonban,
- a különböző alkotóanyagok eloszlása a keverékben egyenletes.



29. ábra: Szabadonejtő keverőgépben kevert beton adatai

Átlagszilárdságok: 1. m_c = 200 kg/m³, 0-1 mm = 10 %
2. m_c = 200 kg/m³, 0-1 mm = 30 %
3. m_c = 400 kg/m³, 0-1 mm = 10 %
Variációs tényezők: 4. m_c = 200 kg/m³, 0-1 mm = 10 %
5. m_c = 200 kg/m³, 0-1 mm = 30 %
6. . m_c = 400 kg/m³, 0-1 mm = 10 %



30. ábra: Kényszerkeverő gépben kevert betonok adatai

Átlagszilárdságok: 1. m_c = 200 kg/m³
2. m_c = 400 kg/m³
Variációs tényezők: 3. m_c = 200 kg/m³
4. m_c = 400 kg/m³

Az adalékanyag finomhomok tartalma : 0-1 mm = 10 %

A keverés szükséges időtartama a keverőgép fajtájától függ. Az ÉTI néhány vizsgálata látható a 29. és a 30. ábrákon. Ezekből megállapítható, hogy sovány beton keverésekor mind a rövid, mind a hosszú keverési idő a szilárdságot csökkenti, a szilárdság egyenletességét rontja, az optimális keverési idő kb. 90 s. A kövér betonokat hosszabb ideig szükséges keverni.

4.4. A betonkeverék szállítása

A betonkeverék szállítását az MI 3.4. fejezete tárgyalja. Lényeges, hogy a keverés és a bedolgozás közötti idő, tehát az ürítés és a szállítás időtartama ne haladja meg a keverék eltarthatósági idejét. (MI 2.2.1.3. fejezet). Ha a betonkeverék hőmérséklete 20 °C-nál kisebb, akkor keverő gépkocsiban legfeljebb 90 perc, tartályban legfeljebb 45 perc a megengedett szállítási idő, míg 20 °C-nál melegebb betont ugyanebben a sorrendben legfeljebb 60, illetve 30 percig szabad szállítani. A betont szállítás közben védeni kell a tűző naptól, esőtől, a szél szárító hatásától. Kisebb mennyiségű (legfeljebb 200 liter) beton a megadott időtartam legfeljebb 50-60 %-áig szállítható.

A cement kötése kötéskésleltető adalékszerrel lassítható, de a kötéskésleltető vegyszer sem védi meg a betont a kiszáradástól, a konzisztencia romlásától, csak akkor, ha a víz elpárolgását valamely módon megakadályozzuk (műanyag fóliával, nedves pokróccal stb.).

A szállítószalag betonszállatásra csak korlátozott mértékben alkalmazható. Elsősorban a legfeljebb D=*16 mm* szemnagyságú, jó összetartóképességű, legfeljebb képlékeny betonkeverék továbbítására alkalmas. A szétosztályozódás elkerülésére a szalag végéhez ejtőtölcsért és terelőlemezt, továbbá a hevederre tapadt habarcs eltávolítására gumi kaparólemezt ajánlatos szerelni. A szalag dőlésszöge célszerűen 18-20°, így a durvább szemek nem gurulnak vissza, de nem esnek túlságosan messzire sem a szalag végétől. A betont tűző nap, szél szárí-

tó hatásától meg kell védeni. Télen a szalagokat célszerű szigetelni a hideg ellen. A szállítás sebessége legfeljebb 1,2 m/h.

A betonkeverés szintjénél mélyebben fekvő munkahelyeket gravitációs úton lehet ellátni betonkeverékkel. E célra legalkalmasabb a fémlemezből készült, 15-25 cm átmérőjű, 60-70 cm magas, enyhén kúpos tagokból álló ormánycső. Az egymásba nyúló tagok két-két acélhuzal kapoccsal illeszkednek mozgathatóan, hajlíthatóan egymáshoz. Az ormánycső felső végére olyan méretű tölcsért célszerű szerelni, amely az egyszerre érkező betonkeverék teljes mennyiségét képes befogadni. Az ormánycső legalsó tagjához erősített rúddal lehet irányítani a betonkeverék kiömlését.

A konténer a beton bármely irányú szállítására használható, és mint minden tartályos szállítás, a beton homogenitását megőrzi. Betontechnológiai szempontból azok a konténerek kedvezőek, amelyek

- lehetővé teszik a beton folyamatos, fennakadás nélküli töltését és ürítését,
- zárszerkezetük könnyen nyitható, és félig telt állapotban is újra csukható, lehetővé téve ezáltal a szakaszos ürítést, a különböző mértékű nyitást,
- zárt állapotukban nem engedik el a vizet,
- különböző konzisztenciájú betonok szállítására alkalmasak.

Ez utóbbi igény elégíthető ki a legnehezebben, mert képlékeny vagy folyós keverékek csőrös konténerekből üríthetők szakaszosan, míg a földnedves, tapadékony betonok széles fenéknyílású, viszonylag kis magasságú konténerekben szállíthatók megfelelően. A beton kevésbé akad fenn és boltozódik át az íves és kör keresztmetszetű tartályokban, mint az éles élekkel kiképzett, szögletes konténerekben. A konténerek mozgó részeit védeni kell az esetleges ráhulló betontól, illetve nagyon gyakran, a betonmaradék kötése előtt, át kell mosni.

4.5. A beton bedolgozása

A beton zsaluzatba öntésével és a munkahézaggal az MI 3.5., a beton tömörítésével az MI 3.6. fejezete foglalkozik.

4.5.1. A betonozás előkészítése, a beton zsaluzatba helyezése

A folyamatos betonozás érdekében nagyobb munkahelyeken célszerű betonozási ütemtervet készíteni. A tervből és a költségvetésből ki kell számítani a beépítendő beton mennyiségét, meg kell állapítani a különböző betonminőségek arányát és meg kell tervezni a különféle szerkezetek elkészítésének az ütemezését a kialakítandó munkahézagok figyelembe vételével. Ezeknek az adatoknak, valamint a betonozási munkák befejezési határidejének az ismeretében kell meghatározni a betonkeverő telep szükséges teljesítményét, illetve transzportbeton felhasználása esetén a betonszállítás ütemezését.

PÉLDA

Egy műtárgyban 700 m^3 C10 és 1800 m^3 C16 jelű betonból készítendő szerkezet van, a bedolgozott beton teljes mennyisége tehát 2500 m^3. Az átlagosan felvehető bedolgozási tényező (a laza betonkeverék és a bedolgozott friss beton térfogataránya) *1,2,* tehát $2500 \times 1{,}2 = 3000\ m^3$ betonkeverékre van szükség. Ha a műtárgy készítésére 20 műszak áll rendelkezésre, akkor egy műszak átlagos betonkeverék szükséglete $3000/20 = 150\ m^3$.

Az ütemterv szerint azonban a feltétlenül folyamatosan betonozandó szerkezetek miatt a napi betonszükséglet 8 műszak alatt műszakonként $210\ m^3$, azaz a számított átlagos betonszükséglet 140 %-a. Ha a maximális betonszükséglet csak kis mértékben haladná meg az átlagot és rövid ideig tartana, akkor a műszak megnyújtásával ez a különbség áthidalható lenne. Jelen esetben azonban kénytelenek vagyunk a betonkeverő telep teljesítményét a maximális betonkeverék igényre (210 m^3) méretezni.

A betonkeverék-igény ismeretben lehet meghatározni a szükséges keverőgép-teljesítményt és a tömörítő eszközök számát. Ehhez a gyári leírások adatait lehet felhasználni. Ugyancsak a betonkeverék-igényhez kell illeszteni a belső betonszállítás eszközeit az alábbi összefüggésből számítva:

$$V_f = n \times V_l \times f \quad m^3/h \tag{73}$$

ahol V_f = az egy órán belül bedolgozandó beton térfogata, m^3,
n = a szállítóeszközök száma.
V_l = a szállítóeszköz tartályának befogadóképessége, m^3,
f = az óránkénti fordulók száma.

Ha a műtárgyat transzportbetonból készítik, akkor a betonozási ütemterv alapján kell

- megrendelni a betonkeverékeket a betongyártól,
- megszervezni a közúti szállítást (ha nem a betongyár szállít),
- megszervezni az érkező betonkeverék fogadását.

A betonozási ütemtervet a munkásokkal is ismertetni kell, el kell magyarázni a technológiát, fel kell hívni a figyelmüket az egyes műveletek helyes végrehajtásának a módjára és az elkövethető hibákra, ezek következményeire.

A betonozás megkezdése előtt a zsaluzás helyzetét, méreteit, a vasszerelést a tervek alapján ellenőrizni kell, továbbá ellenőrizni kell a zsaluzat és az állványzat teherbírását, merevségét. A zsaluzat oldalfalára ható betonnyomás számos tényezőtől függ, mégpedig a beton testsűrűségétől, konzisztenciájától, a cement kötőerejétől, a bedolgozás és tömörítés módjától, a zsaluzat feleltétől, a betonozás sebességétől, a beton és a környező levegő hőmérsékletétől, valamint a szerkezet alakjától. E sok, egyidejűleg ható tényező miatt az oldalnyomás értékét számítani csak közelítőleg lehet. Helytelen azonban az a még mindig tapasztalható kivitelezési gyakorlat, amely a számítás mellőzésével a pillérzsaluzat oldalfalát 24 mm vastag deszkával, 50-100 cm-ként vízszintes kalodázással, a beton és a vasbeton falak oldalzsaluzatát ugyancsak 24 mm vastag vízszintes deszkázással és 70-100 cm-enként függőleges gerendázattal készíti el.

Vibrációs tömörítés mellett a beton megfolyósodik és ez a zsaluzatra folyadéknyomásként hat. Ha a pillérek, vagy a falak betonozása gyors, akkor a beton oldalnyomását így kellene számításba venni, de ez az eset a gyakorlatban ritkán fordul elő. Általánosabb a betonozás olyan végrehajtása, hogy a beton oldalnyomásaként – a tapasztalatok szerint – 0,05 N/mm^2 vehető fel.

Ha a betonozás közben a zsaluzaton bármely előre számításba nem vett deformáció észlelhető, akkor a betonozás sebességét le kell csökkenteni, és a zsaluzatot pótlólag meg kell erősíteni.

A zsaluállvány ellenőrzésekor meg kell győződni arról, hogy a teherelosztó talpak nem kerültek laza talajra és az alátámasztási helyeken megfelelő vízelvezetés van. Ellenőrizni kell a talpak merevségét és méreteit (megengedett talajigénybevétel). A zsaluzóállványzat függőleges oszlopait, dúcait, átlósan még akkor is ki kell merevíteni, ha azt a számítások nem indokolják.

A zsaluzáshoz, vagy az azt alátámasztó dúcoláshoz nem szabad kihorgonyozni semmiféle segédépítményt (pl. felvonót) és a lehetőleg a munkaállványt is függetleníteni kell ettől.

Vasbeton szerkezetek vasszerelését a beépítés előtt vasátmérőre, darabszámra, vasvezetésre és felületi állapotra ellenőrizni kell, majd betonozás előtt a terv szerinti elhelyezését felül kell vizsgálni. Különös gonddal kell ellenőrizni azt, hogy a terv szerinti betontakarás mindenütt megfelelő legyen. A lemezek alsó vasalását sok helyen gondatlanul a zsaluzatra fektetik, és úgy juttatják a terv szerinti helyükre, hogy betonozás közben kampókkal az acélbetét alá nyúlnak és azt megemelik. Ez még a leggondosabb munka mellett sem ad megfelelő eredményt. A tervnek megfelelő helyzetet csak megfelelően kiképzett beton vagy műanyag alátétekkel, ún. térközbiztosítókkal lehet elérni.

A véglegesen elhelyezett acélszerelésre nem szabad rálépni, hanem a közlekedés céljára a zsaluzatra támaszkodó járódeszkázatot kell kialakítani.

A betonozás megkezdése előtt a zsaluzatot minden szennyeződéstől meg kell tisztítani, erős vízsugárral kell lemosni. A zsaluzat aljára így lemosott szemetet a zsaluzat alján készített tisztítónyíláson keresztül lehet eltávolítani. A deszkazsaluzatot addig kell locsolni, amíg vízzel telítődik, nehogy a betonból vizet szívjon el, ezzel együtt cementet is, amely a zsaluzatra kötve a kizsaluzást megnehezíti. Az átnedvesítés, vízzel telítés a faanyag dagadását okozza, ezért a száraz zsaludeszkák között tágulási hézagot kell hagyni.

A betonkeverék elhelyezésének általános szabályai a következők:

- a betonkeveréket lehetőleg közvetlenül a betonozás helyére, a zsaluzatba ürítsük,
- a szállítás közben szétosztályozódott, vagy a tervezettől eltérő konzisztenciájú keveréket nem szabad a zsaluzatba önteni,
- a betonkeveréket legfeljebb 1,5 m magasból szabad a zsaluzatba szabadon ejteni,
- ügyelni kell arra, hogy a zsaluzatba öntés közben a beton szét ne keveredjék.

Ha a betonkeverék teljes mennyiségét nem lehet egyszerre a zsaluzatba üríteni, akkor a bedolgozás helye mellett fém kezelőlapra kell önteni. Ide önthető a szállítás közben szétosztályozódott beton is, amelyet víz hozzáadása nélkül kézzel kell átkeverni. Nagy kiterjedésű vízszintes szerkezetekbe a betonkeveréket a szállítóeszköztől mindig a betonozás irányával szemben kell kiüríteni, a szabad zsaluzati részbe és onnan kell a már előzőleg betömörített betonhoz húzni. Ferde szerkezetekbe a betonkeverék töltését alulról kell elkezdeni.

A 1,5 m-nél magasabb pilléreket, falakat stb. betonnal csak több munkaszintről szabad ellátni. Ezért a pillérek, oszlopok zsaluzatába legfeljebb 1,5 m-enként nyílásokat (ún. ablakokat) kell kialakítani. Célszerű a betont függőlegesen elhelyezett ormánycsövön át bejuttatni a zsaluzatba. A magas falak egyik oldalzsaluzatát szakaszosan célszerű megépíteni. Ha ez nem lehetséges, akkor legfeljebb 1,5 m-enként legalább 30 cm vízszintes és 40 cm függőleges méretű ablakot célszerű a zsaluzatban elkészíteni (az ablak függőleges méretét elsősorban az ormánycső mérete szabja meg). Könnyebben lehet betonozni, ha ablak helyett a fal egész hosszában végigfutó nyílást hagynak (általában 3 zsaludeszkányi nyílás elegendő) s a deszkákat a betonozás előrehaladtával helyezik vissza. A végigmenő nyílásokon át a beton jobban teríthető, az ormánycső mozgatható.

A kisebb szemnagyságú adalékanyaggal készített beton kevésbé osztályozódik szét, mintha a *D* nagyméretű (> 16 mm).

4.5.2. Tömörítés

A beton tömörítését az MI 3.6. fejezete tárgyalja. A zsaluzatba öntött beton, konzisztenciájától függően, különböző tömörségű; a földnedves lazábban, a folyós tömörebben helyezkedik el. De mindig tartalmaz besodort

levegőt. Ennek eltávolítása, a lehető legtömörebb vázszerkezet kialakítása a tömörítés feladata. A tömörítés a betonkészítés egyik legfontosabb eleme: mielőtt a betont a zsaluzatba öntjük, az esetleges hibákat még ki lehet javítani (pl. cement vagy cementtej hozzáadásával), de a zsaluzatba öntött és betömörített beton hibái csak na- nagyon ritkán szüntethetők meg.

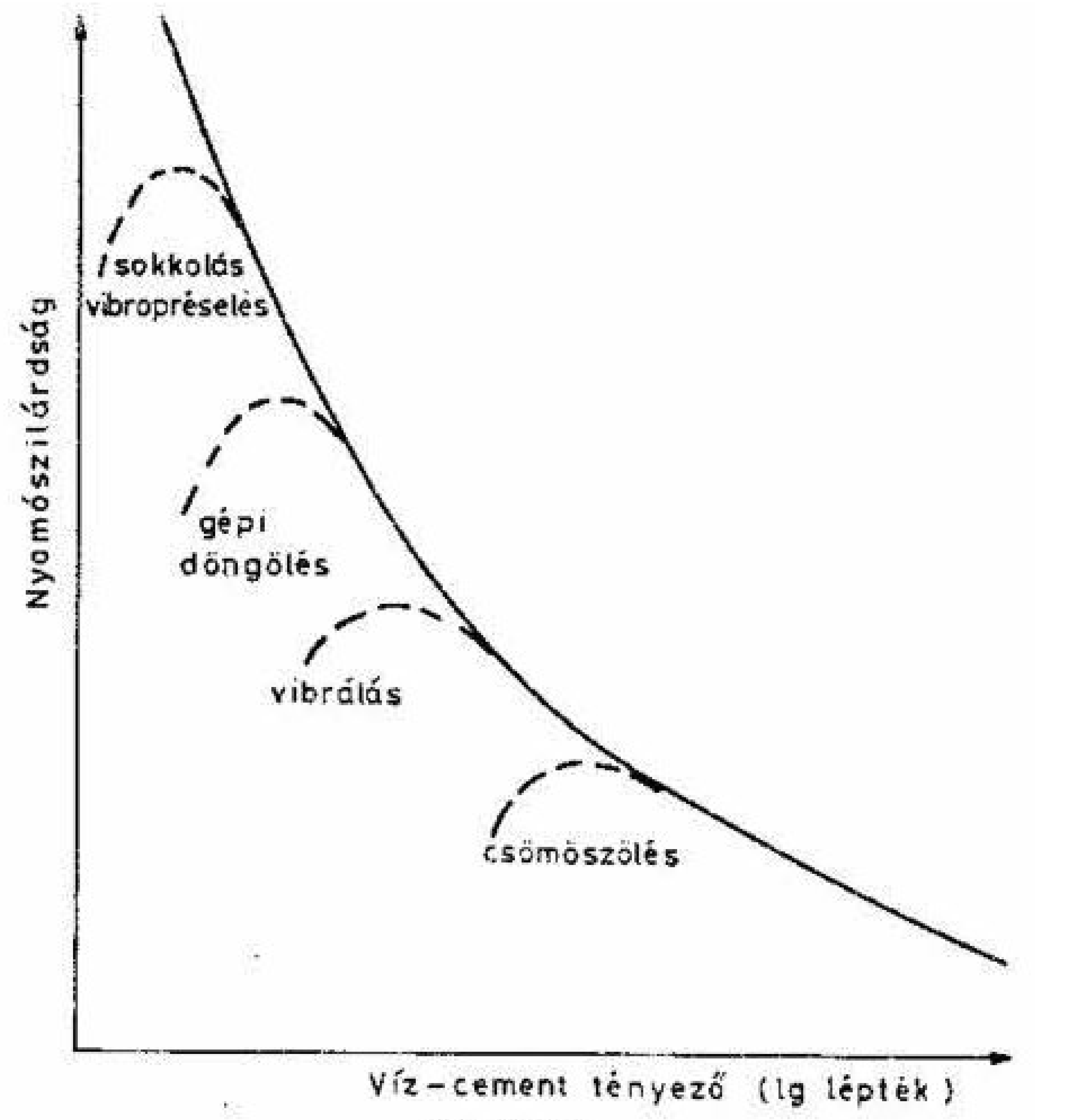
A zsaluzatba helyezett beton szemcséire különféle erők hatnak (tömeg-, felületi- és kapilláris-erők) s ezek a nyugalomban lévő betonban egyensúlyban vannak. A tömegerőket aktív erőknek nevezzük, mert hatásukra az alkotóelemek a lehető legtömörebb helyzetbe kerülnek. A felületi erők (pl. súrlódás, tapadás) passzív erők, a tömegerők hatásának ellenszegülnek. A kapilláris erők az egyes szemcséket olyan helyzetbe kívánják hozni, hogy a közöttük lévő folyadékhártya felülete e lehető legtömörebb legyen.

A betonkeverék tömörítésekor az említett erők egyensúlyát megszüntetjük és a passzív erők hatását legyőzve a keverék szemcséit a lehető legtömörebb, új egyensúlyi helyzetbe hozzuk. A tömörítés két alapmódszere a döngölés és a vibrálás. A döngölés lényegében a tömegerőt növeli: a durvább szemcsék benyomódnak a cementhabarcsba. A vibrálás hatására a keverék átmenetileg megfolyósodik, a súrlódás, tapadás lecsökken.

Bármilyen a bedolgozás módszere, a betonkeveréket mindaddig tömöríteni kell, amíg az a lehető legtömörebb állapotba jut, hiánytalanul kitölti a zsaluzatot és maradéktalanul körülveszi az acélbetéteket. Ennek érdekében elsősorban a betonkeverék konzisztenciáját kell úgy megválasztani, hogy az a rendelkezésre álló tömörítőeszköz és a készítendő betonszerkezet jellegének a legjobban megfeleljen. Erre vonatkozó tájékoztatást tartalmaz a 14. táblázat. A táblázat oszlopainak jelentés: a) nincs tömörítés; b) csömöszölés; c) döngölés; e) vibrálás; e) különleges.

14. táblázat: Javasolt konzisztenciák

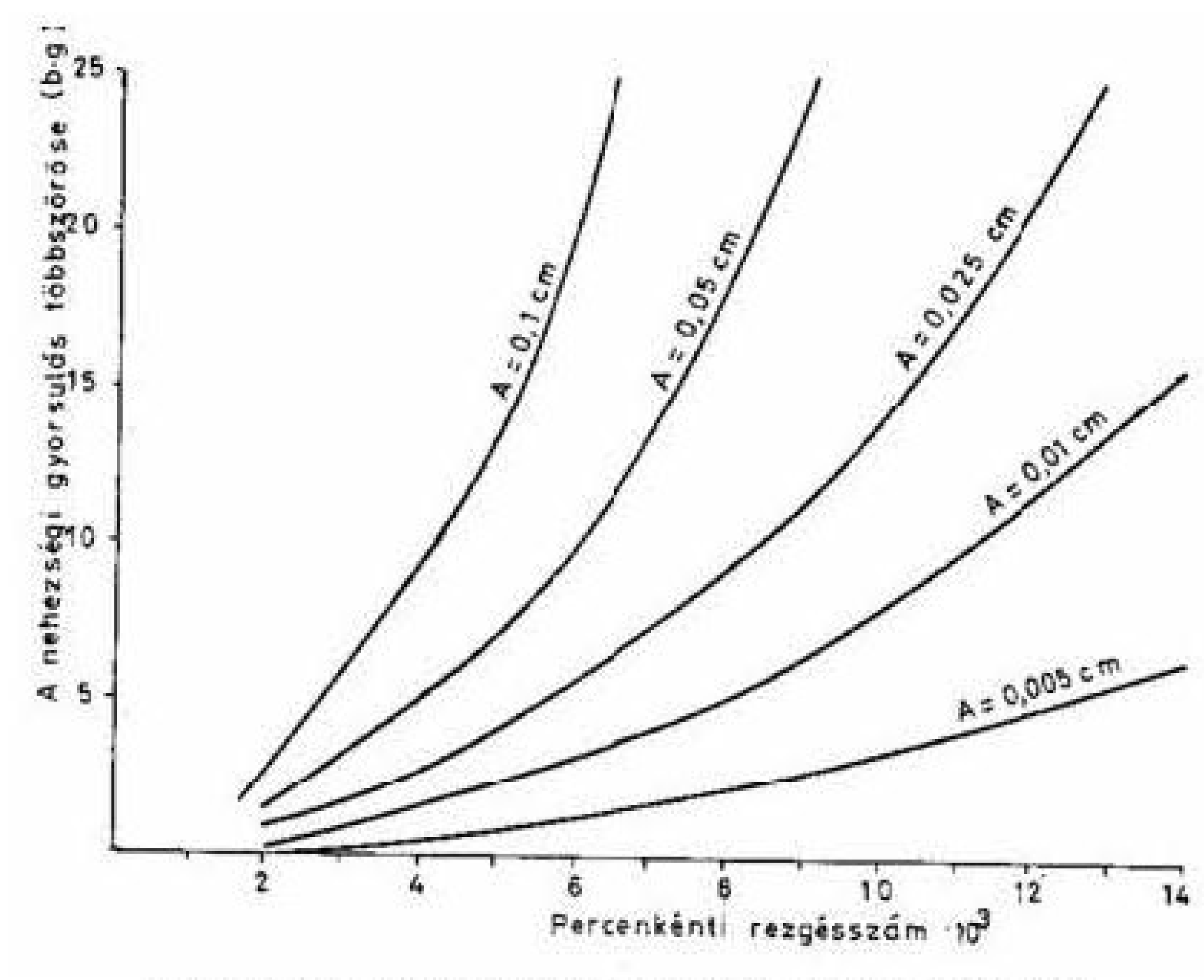
A szerkezet jellege	Célszerű konzisztencia, ha a tömörítés módja				
	a)	b)	c)	d)	e)
Tömeg-, alap-, út-beton	-	K-F	FN	KK-K	FN
Ritkán vasalt szerkezet	-	-	FN-KK	KK-K	FN-KK
Szokásos vb.. szerkezet, 80-120 kg/m^3 acélbetéttel	-	-	-	KK-K	FN-KK
Vékonyfalú vb. szerkezet, előre-gyártás, feszített szerkezet	F	F-K	-	KK-K	FN-KK



31. ábra: A szilárdság változása a tömörítési módszertől függően

Ha a tömörítés mértékét nem választják ki megfelelően, akkor a víz/cement tényező csökkenésével kezdetben növekvő szilárdság csökkenni fog, a konzisztencia és a tömörítőeszköz által meghatározott tartományokban: a csömöszölés csak a folyós-erősen képlékeny betonra ad megfelelő tömörséget, a vibrálás a gyengén képlékeny betonokban már kedvezőtlen lehet. Erről tájékoztat a 31. ábra.

Az alkalmazott tömörítési módszer az adalékanyag legnagyobb szemnagyságát is megszabja: kézi tömörítéskor $D = 48\ mm$, gépi döngöléskor $D = 63\ mm$, vibráláskor (speciális vibrátorokkal) $D = 500\ mm$ lehet. Ugyancsak a tömörítés módjától függ az egyszerre tömöríthető betonréteg vastagsága, valamint az adalékanyag szemcséinek az alakjától: a természetes, gömbölyded homokos kavicsból készített beton nagyobb vastagságban tömöríthető, mint a szögletes szemű zúzottkő.



32. ábra: Rezgésjellemzők összefüggése

A kellő tömörség külső jele általában az, hogy a friss beton tovább már nem ülepedik, felülete elsimul, egyenletesen zárttá válik, miközben a felületen cementpép, vagy cementhabarcs réteg jelenik meg. Ekkor a tömörítést be kell fejezni, különben a beton szétosztályozódhat.

A több rétegben betonozandó szerkezetek készítésekor lehetőleg mindig friss beton kerüljön a frissen betömörített betonra.

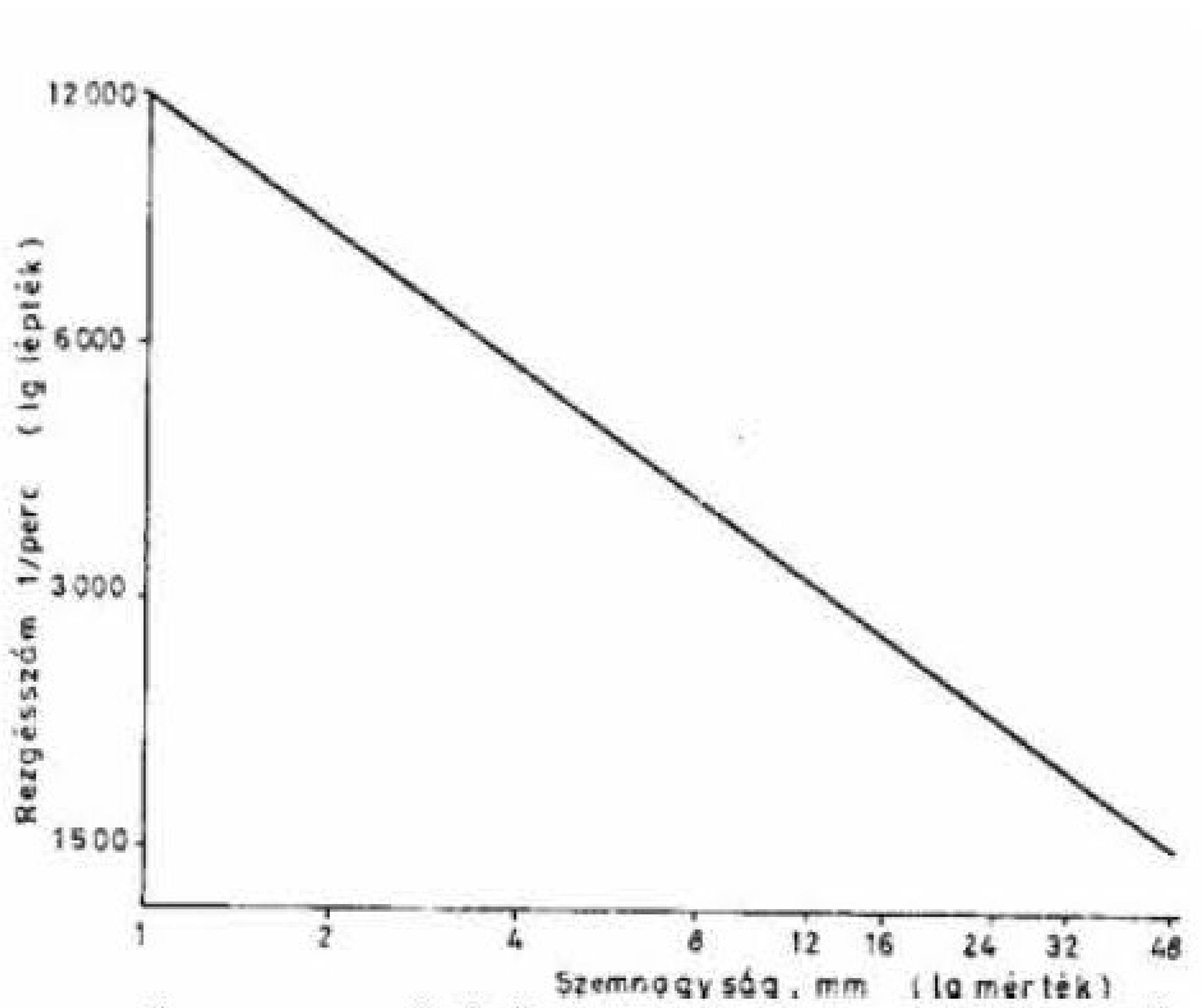
Kézzel csak alárendelt szerkezetek betonját célszerű tömöríteni. A gyakorlatban mintegy 50 éve elsősorban

vibrátorokat használnak. Ezek hatékonysága a keltett rezgések amplitúdójától, a rezgésszámtól és a gyorsulástól függ. A rezgésjellemzők összefüggése látható a 32. ábrán, amely szerint ugyanolyan gyorsulás érhető el nagyobb amplitúdóval és kisebb rezgésszámmal vagy fordítva. Nem mindegy azonban, hogy a jellemzőket hogyan választjuk meg. A rezgésszámnak annál nagyobbnak kell lennie, minél kisebb szemeket kívánunk tömöríteni a 33. ábrának megfelelően. A gyakorlatban alkalmazható vibrátor-rezgésszám alsó határa mintegy 3000 rezgés/perc, de annál jobban megfolyósodik a keverék, minél nagyobb a rezgés-szám: optimális értéke 12000 – 14000 rezgés/perc-re tehető.

A rezgésjellemzők közül nagyon fontos a gyorsulás. Általánosan elfogadott szabály, hogy a hatásos vibrálás nehézségi erőhöz viszonyított gyorsulása legalább *4 g* legyen.

A tömörítés hatékonysága többféleképpen növelhető:

- olyan adalékszereket alkalmazhatunk, amelyekkel változatlan konzisztencia érhető el 5-10 % vízmegtakarítás mellett, vagy változatlan összetétel mellett a beton konzisztenciája egy konzisztencia osztállyal képlékenyebbé válik (képlékenyítő adalékszerek, 2.3.1. fejezet),
- az előzőhöz hasonló, de nagyobb hatékonyságú adalékszerekkel (folyósító adalékszerek, 2.3.1. fejezet) a beton két konzisztencia osztállyal válik képlékenyebbé, ami feleslegessé teheti a tömörítést, vagy változatlan konzisztencia érhető el 10-20 % vízcsökkentéssel is,



33. ábra: Az adalékanyag szemnagyságának és a rezgésszámnak az összefüggése

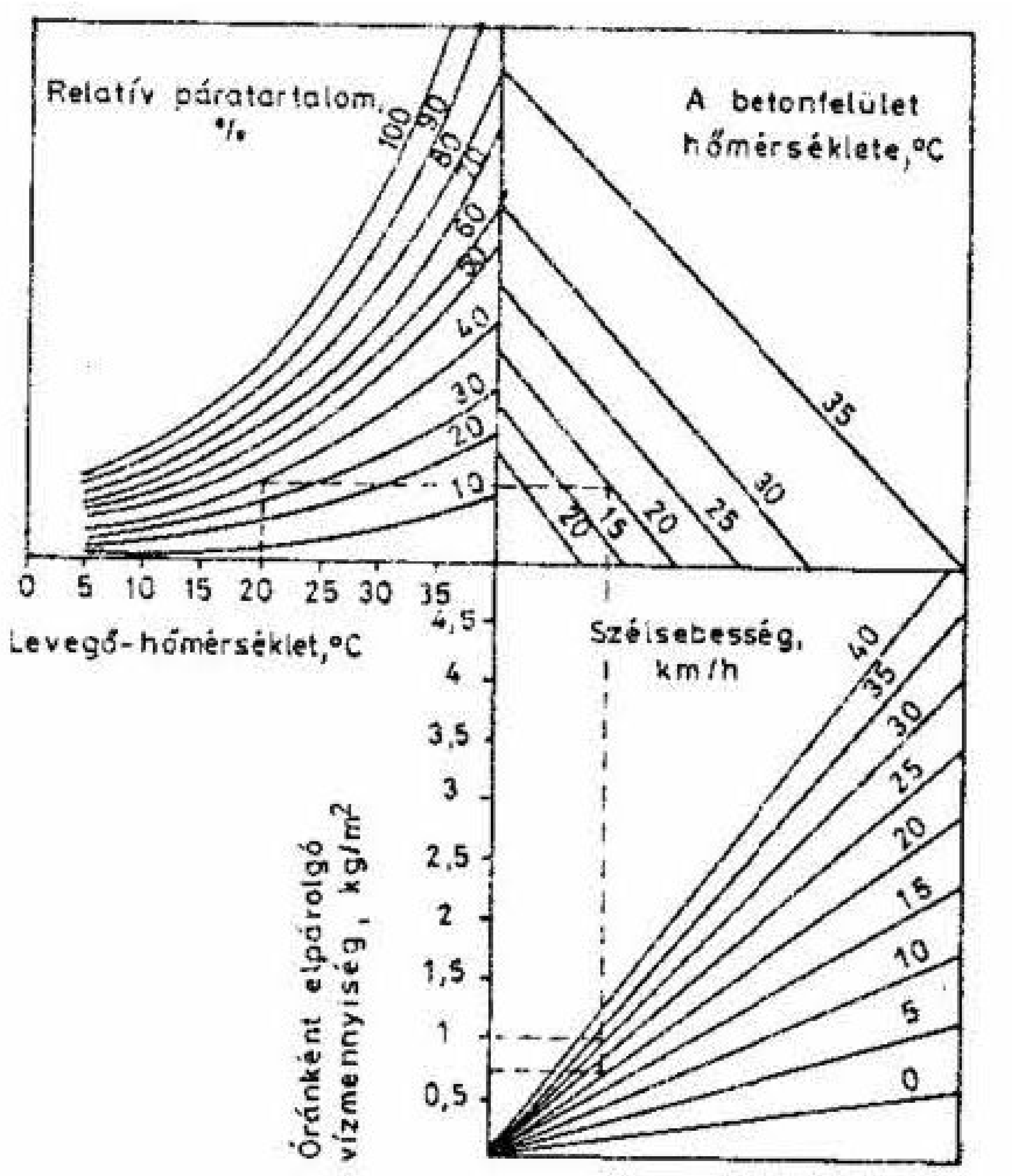
- nagyfrekvenciájú (150-200 Hz) vibrátorokat alkalmazva növelhető a cementhabarcsváz tömörsége, illetve kétfokozatú vibrátorokkal (kezdetben alacsony frekvencia és nagy amplitúdó a durva adalékanyag-váz, később nagy frekvencia és kis amplitúdó a cementhabarcs-váz tömörítésére) javítható a beton tömörsége,
- a vibrálás megismétlésével vagy a tömörítés megkezdésének a késleltetésével javítható a beton szilárdsága; előző esetben a kötéslassítóval készített betonszerkezetet az első tömörítést követően 12-24 óra múlva újra átvibrálják és ezzel eltüntetik a beton merevedése (töppedése) miatt esetleg kialakult hajszálrepedéseket, miáltal javul a beton vízzárósága, a második esetben a képlékeny vagy folyós konzisztenciájú betont kezdetben ülepedni hagyják, a vibrálást csak néhány óra múlva kezdik meg, ennek eredményeképpen a cementszemcsék felületén kialakulni kezdő gélburok ledörzsölhető, újabb cementszemcse felületek táródnak fel, s így a szilárdság fokozható

A tömörség fokozásának egyéb eljárásairól a későbbiekben lesz szó (pl. vákuumkezelés).

4.6. A beton utókezelése

A beton utókezelését az MI 3.7. fejezete tárgyalja. A bedolgozást követően, a keveréstől számított néhány órán belül megkezdődik a cement kötése, ehhez vízre van szükség (az első hónapban a cement – tömegére számítva – 15-20 % vizet köt le). A keverővíz elegendő lenne a cement kötéséhez és szilárdulásához, a beton azonban a saját és a környező levegő hőmérsékletétől, valamint egyéb tényezőktől (elsősorban a levegő páratartalmától és a szél sebességétől) függően kisebb vagy nagyobb mértékben párolog. A párolgás mértékéről a 34. ábra tájékoztat.

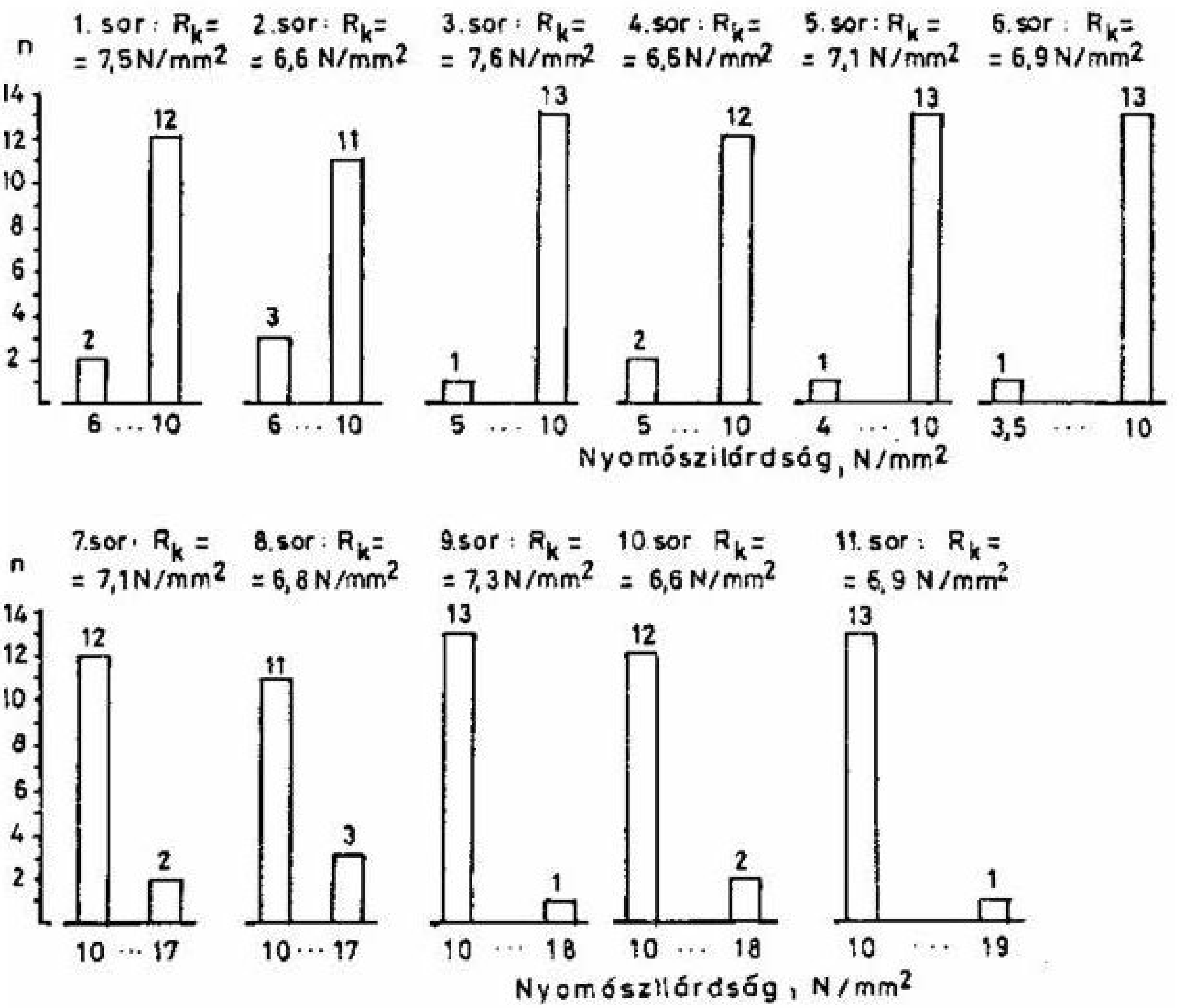
A gyors vízelpárolgás különösen a korai időszakban (7-14 napig) káros a betonra. Irodalmi adatok szerint, ha az óránkénti vízveszteség nagyobb, mint 1 kg/m^3, akkor már zsugorodási repedések keletkezhetne. A 34. ábráról leolvasható, hogy +20 °C beton- és levegőhőmérséklet, valamint 40 % környezeti páratartalom mellett már 30 km/h szélsebesség hatására ilyen mérvű a vízveszteség. Ezt a vízelpárolgást meg kell akadályozni vagy pótolni kell utókezeléssel, nehogy a beton laza szövetű, repedezett, táskásan elváló, porlékony és ezért csekély szilárdságú legyen. A rosszul utókezelt betonnak nemcsak a 28 napos szilárdsága lesz kb. fele a jól utókezelt betonhoz viszonyítva, hanem utószilárdulása is megszűnhet, ezért idősebb korban a szilárdság elmaradása még nagyobb mértékű.



34. ábra: Tájékoztató összefüggés a bedolgozott friss betonból elpárolgó vízmennyiség meghatározására

szilárdságot 8 N/mm^2-rel, *C16* jelű beton esetében 14 N/mm^2-rel, *C30* jelű beton esetében 21 N/mm^2-rel meghaladó szilárdságú egyetlen elem az átvételt meghiúsíthatja.

A nem paraméteres eljárás szerint a 14 elemű minták vizsgálata alapján mindaddig megfelelőnek kell minősíteni a betont, amíg a legkisebb szilárdság eléri vagy meghaladja az előírt minősítési szilárdságot. A beton készítője számára ez az értékelési módszer nyújt megfelelő biztonságot.



45. ábra: A 19. táblázat néhány adatsorának a gyakorisági hisztogramja

A 19. táblázatban látható példákban lényegében két különböző tételből származó betonkeverék-halmaz együttes értékelése van összefoglalva, és ez okozza a paraméteres és a nem paraméteres módszer közötti eltéréseket. Az MSZ 4720 intézkedik arról, hogyan kell a tételeket elkülöníteni, ez azonban a gyakorlatban sokszor megoldhatatlan (pl. a silókban a különböző cement-, illetve a depóniákban a különböző adalékanyag-szállítmányokat nem lehet egymástól elhatárolni). Ezért a gyakorlatban rendszeresen lehet tapasztalni több tétel együttes értékelését s az ebből eredő téves, félrevezető minősítéseket. A 19. táblázat ugyan mesterséges, szélsőséges példákat ad, mégis közel áll a gyakorlathoz, a gyakorlati tapasztalatokra épül.

A tételek elkülönítésére az MSZ 4720 szabvány előírásain túlmenő szabályokat is célszerű megfogalmazni, hogy a paraméteres és a nem paraméteres módszer alkalmazásakor egyformán lehessen a betonokat minősíteni. Ha megvizsgáljuk, hogy a különböző átlagszilárdságú és szórású halmazok esetében melyek azok a szélső szilárdsági értékek, amelyek mind a paraméteres, mind a nem paraméteres módszer alkalmazásakor egyforma és a teherbírást ténylegesen tükröző értékelést tesznek lehetővé, akkor a következő megállapításokat tehetjük.

Ha a halmaz átlagszilárdsága R_m N/mm^2, a minta elemei akkor tekinthetők egy tételbe tartozóknak, ha a halmaz elemeinek a minimális szilárdsága legalább:

$$R_{min} = 0,75 \times R_m \tag{78}$$

és a halmaz elemeinek a maximális szilárdsága legfeljebb:

$$R_{max} = R_m \times \{1 + (0,5 / lgR_m)\} \tag{79}$$

Ha a halmaz a fenti feltételeket nem elégíti ki, akkor nem tekinthető egy tételnek.

A nem paraméteres módszer előnye, hogy kevert tételre is megbízható becslést tesz lehetővé. A módszer kiterjesztésére 14-nélkevesebb elem mellett az MI 4.3.4.2. fejezete ad eljárást. E szerint a beton mindaddig megfelelőnek minősíthető, amíg 1, 2 vagy 3 vizsgálati eredmény közül a legkisebb: $R_{min} = 1,33 \times R_{k,nom}$, illetve 14 vizsgálati eredmény közül a legkisebb $R_{min} = R_{k,nom}$. A közbenső elemszámra érvényes feltételek az MI 4.3.4.2. fejezetében megtalálhatók.

Az átlagos nyomószilárdság

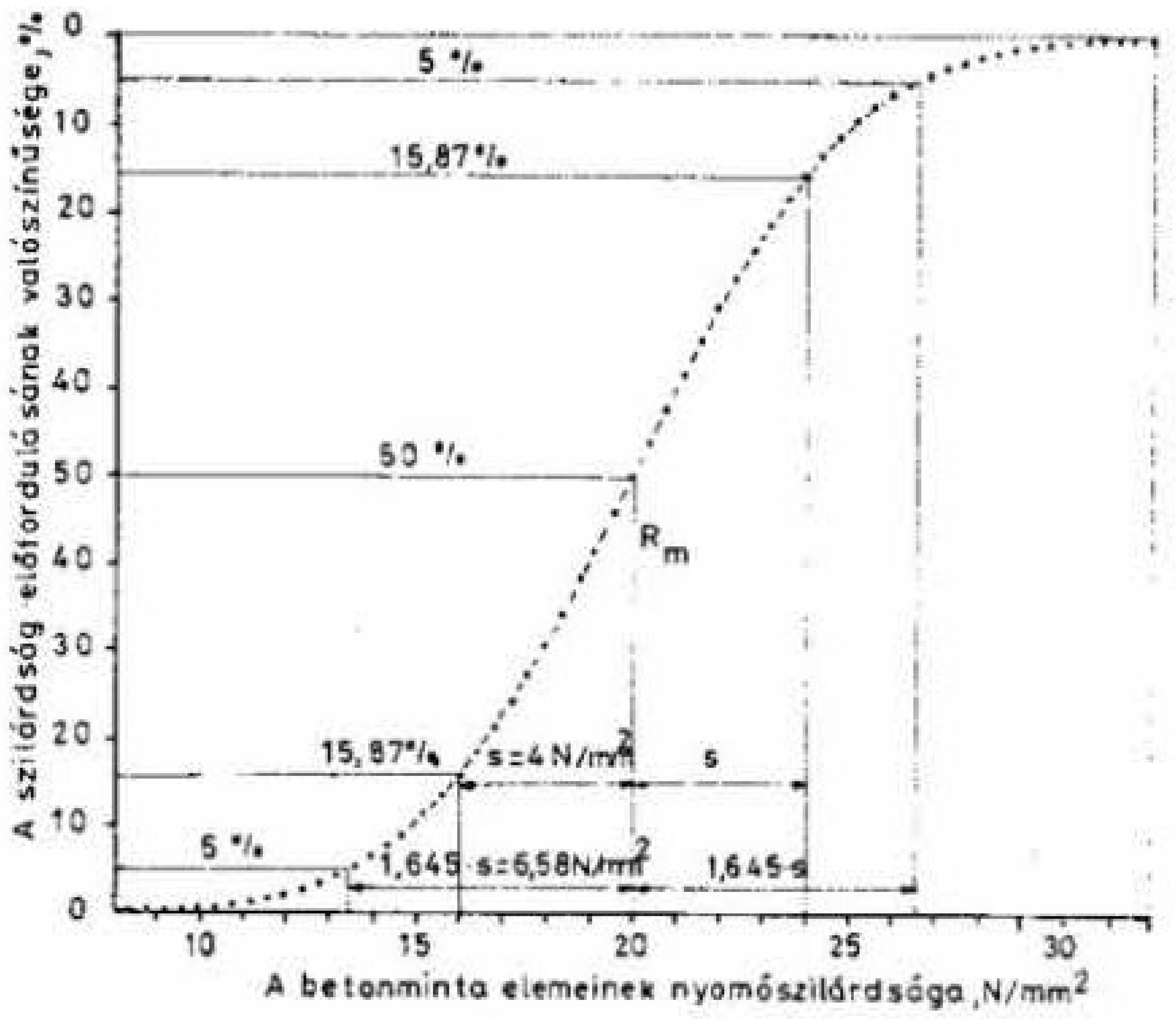
$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^{n} R_i}{n} \qquad (74)$$

Képletből, a nyomószilárdság szórása a (19) képletből számítható.

Az eloszlás a betonhalmazban lévő különböző szilárdságú elemek előfordulásának a gyakoriságát mutatja. Legismertebb a Gauss-féle normális eloszlás, amely akkor jön létre, ha az értékek kialakulását sok apró, egymástól független tényező befolyásolja és ezek hatása összegeződik, továbbá, ha a tényezők rendszere az időben nem változik. A Gauss-féle normális eloszlásra példát ad a 36. ábra $R_m = 20\ N/mm^2$ átlagszilárdságú és $s = 4\ N/mm^2$ szórású betonra.

Megjegyezzük, hogy a normális eloszlású nyomószilárdság eloszlásfüggvényének általános alakja:

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \times \pi \times s}} \int_{-\infty}^{x} e^{-\frac{(t-R_m)^2}{2s}} dt \qquad (75)$$

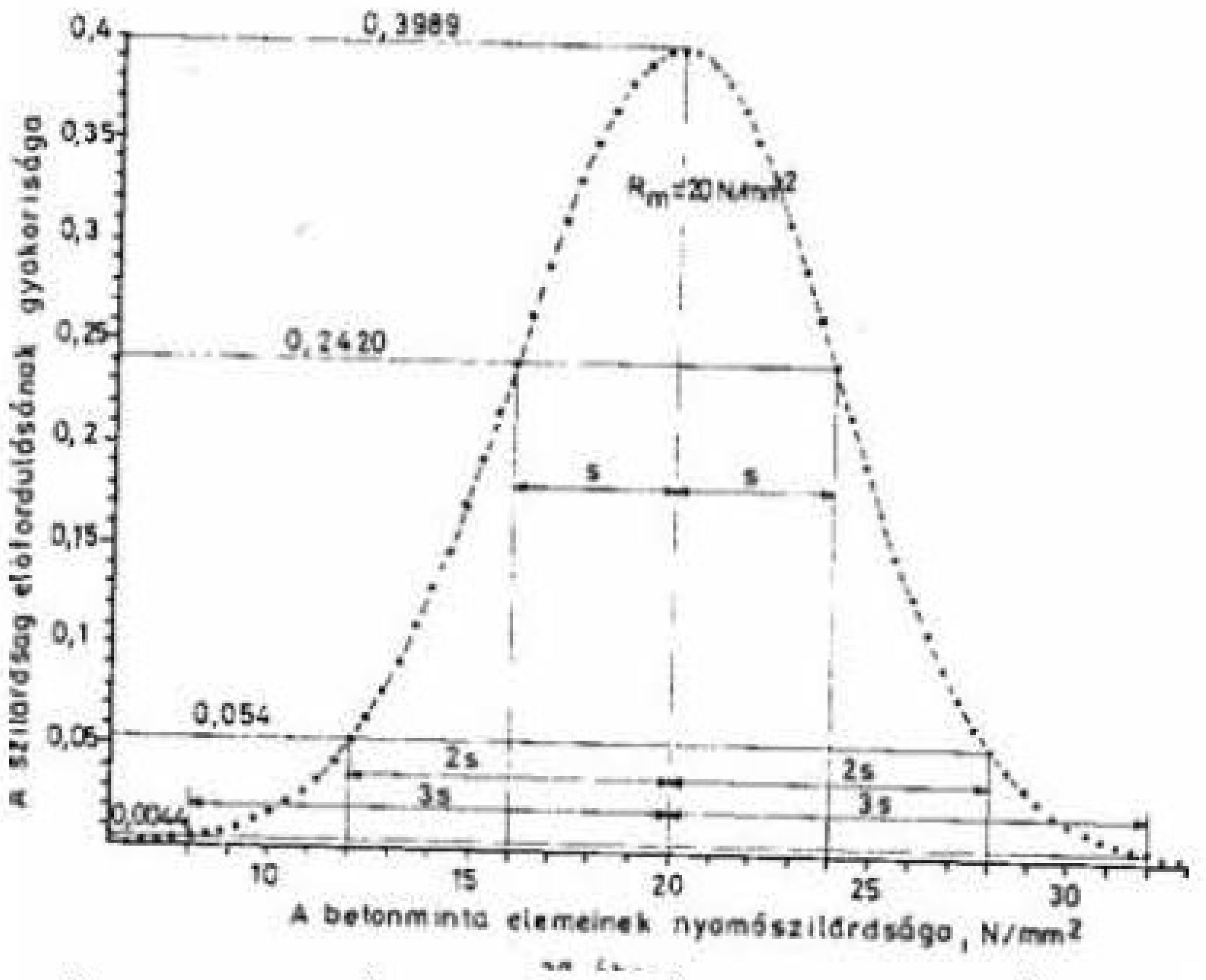


36. ábra: A Gauss-féle normális eloszlás R_m=20 N/mm^2 átlagszilárdságú, s=4 N/mm^2 szórású betonra

A 36. ábra szerinti eloszlású beton nyomószilárdságának sűrűségfüggvénye a 37. ábra szerinti, amely a közismert Gauss-féle haranggörbe.

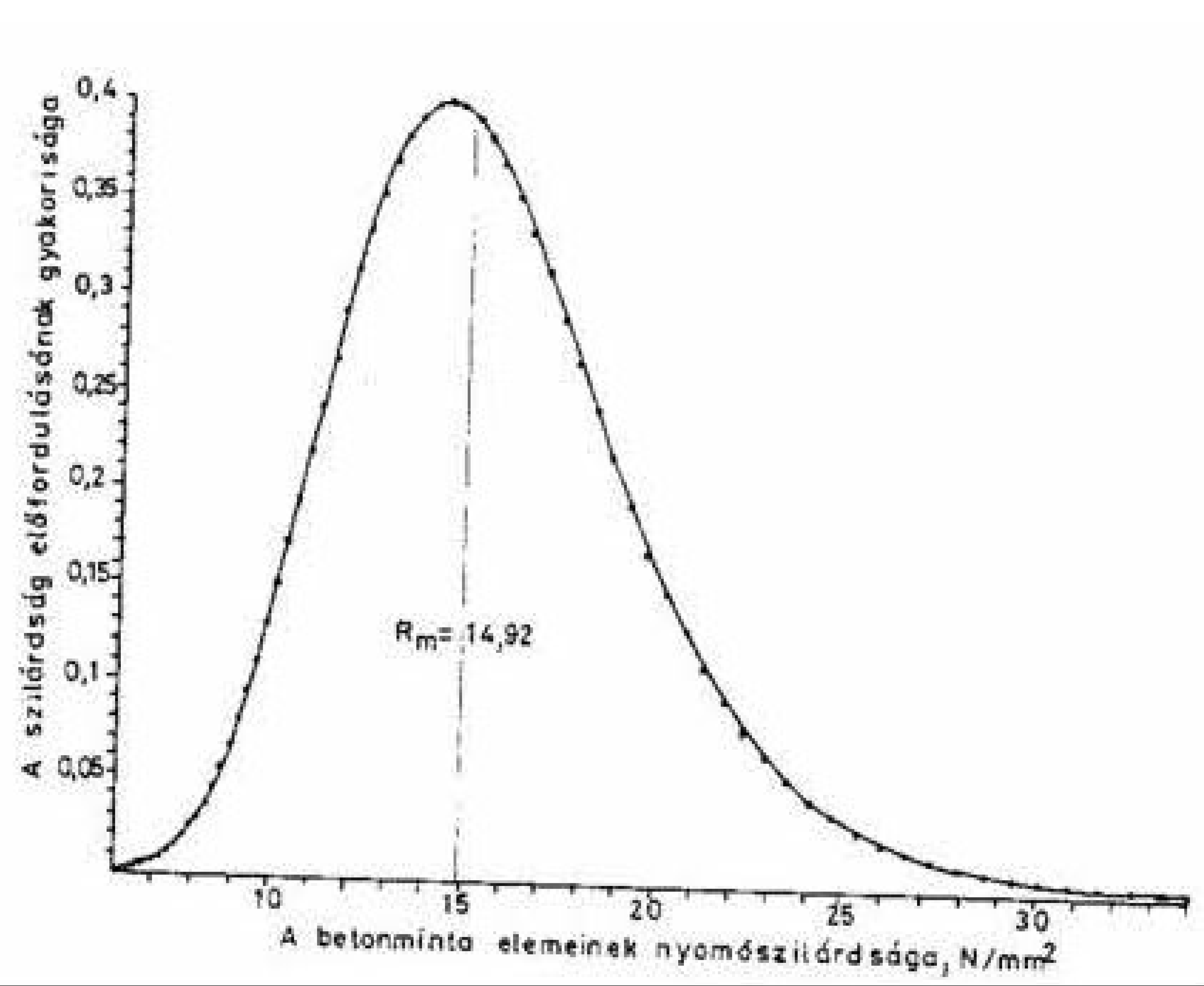
Megjegyezzük, hogy a normális eloszlású nyomószilárdság sűrűségfüggvényének általános alakja:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \times \pi \times s}} \times e^{-\frac{(x-R_m)^2}{2s^2}} dt \qquad (76)$$

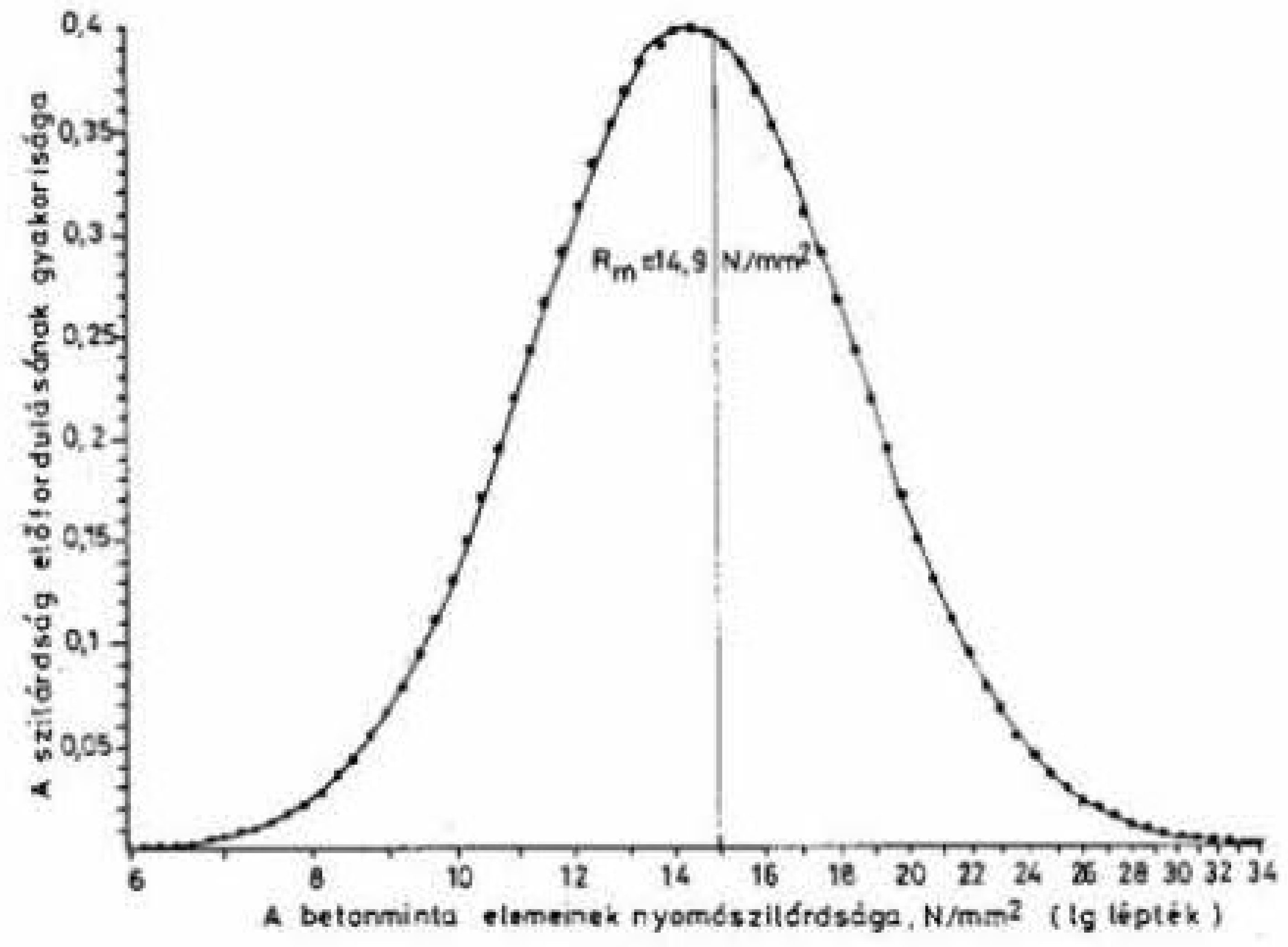


37. ábra: A 36. ábra szerinti beton sűrűségfüggvénye

A logaritmikusan normális eloszlású beton sűrűségfüggvénye a 38. ábrán látható. A beton nyomszilárdságának a terjedelme a 37. ábrával azonos, a görbe úgy szerkeszthető, hogy a beton nyomószilárdságát logaritmikus léptékben kell felhordani, és a sűrűségfüggvény alakja ekkor egyezik meg a normális eloszlásúéval. Ha a nyomószilárdságot lineáris léptékben ábrázoljuk a 39. ábrának megfelelően, akkor a sűrűségfüggvény a 37. ábra szerinti normális eloszlásúhoz képest balra ferdül.



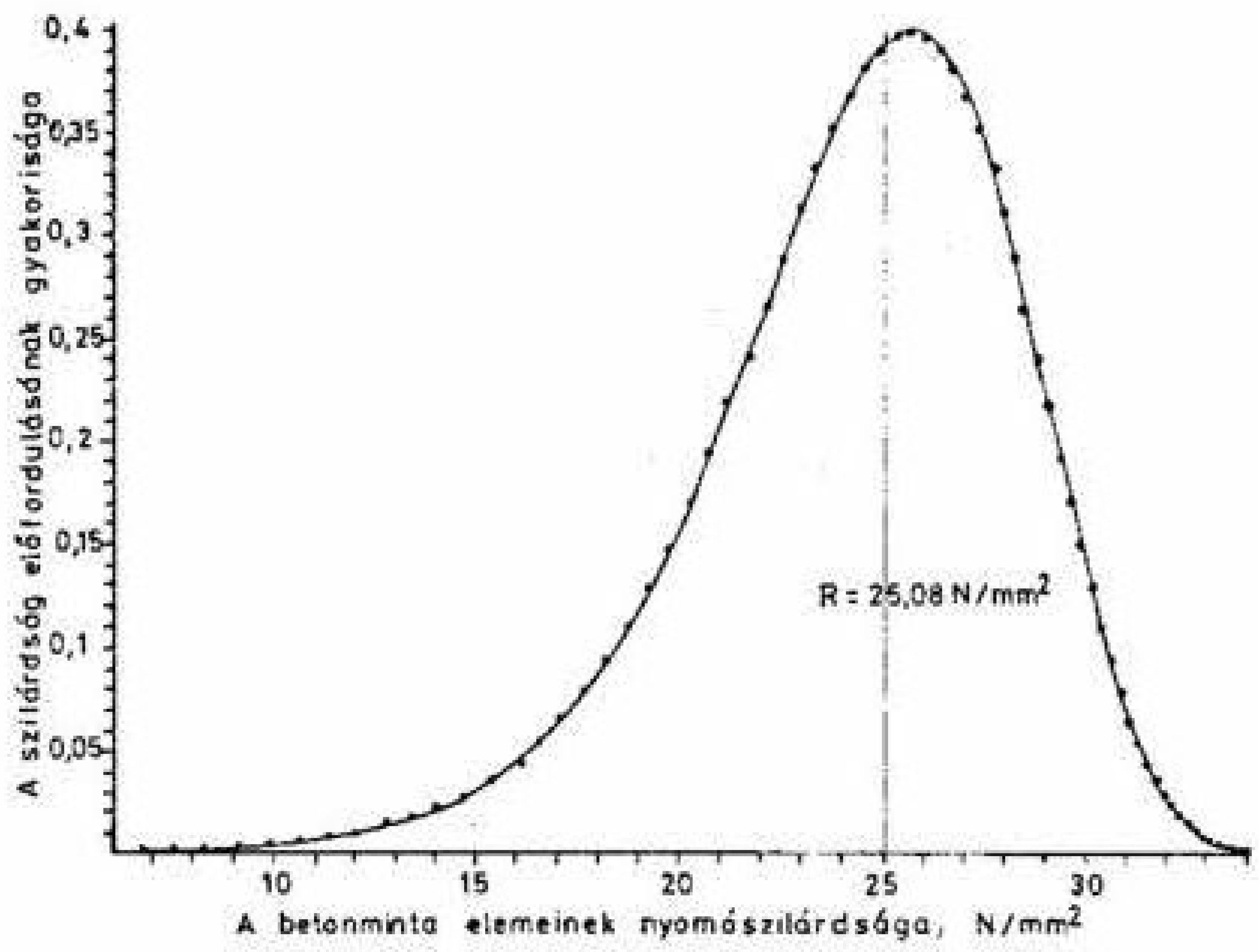
39. ábra: A logaritmikusan normális eloszlású beton sűrűségfüggvénye, ha a nyomószilárdság lineáris léptékben van feltüntetve



38. ábra: A logaritmikusan normális eloszlású beton sűrűségfüggvénye, ha a nyomószilárdság lg léptékben van feltüntetve

A 39. ábra tükörképének felel meg a második alsó extremális eloszlás, melynek a sűrűségfüggvényét a 40. ábrán lehet látni.

A betonszilárdság eloszlását egyaránt befolyásolják mindazok a tényezők, amelyek magát a szilárdságot meghatározzák (betonösszetétel, alapanyagok minősége, a készítés körülményei és módja), másrészt a készítendő beton minősége. Kis szilárdságú (*C4*-C10) betonok készítésekor általában megelégszünk osztályozatlan homokos kavics felhasználásával, amelynek szemmegoszlása a felső határgörbének megfelelő (azaz homokdús). Az előírt cementtartalom csekély (megközelítheti a megengedett legkisebb 125 kg/m^3 értéket), nagyságát elsősorban a bedolgozhatóság, a beton összetartó képessége szabja meg. Az előírt konzisztencia legtöbbször képlékeny, a cementpép kevesebb, mint az adalékanyag pépigénye.



40. ábra: A második alsó extremális eloszlású beton sűrűségfüggvénye

Mindez azt jelenti, hogy a kis nyomószilárdságot olyan összetétellel lehet elérni, amely valamennyi szempontból a még megengedhető legkedvezőtlenebb. Ebből viszont az következik, hogy a készítés paramétereinek a változása nem lehet véletlen jellegű. Ha a beton készítője a megengedett legnagyobb homoktartalmú adalékanyagot használja fel, akkor egy-egy szállítmányban kisebb homoktartalmú adalékanyagot is kaphat. Ha a beton konzisztenciája a megengedhető legképlékenyebb, akkor egy-egy keverék ennél csak szárazabb lesz (ellenkező esetben ugyanis már szemmel látható a szétkeveredés, a készítési víz egy részének az elfolyása). Ha a cementtartalom tervezett értéke minimális, akkor egy-egy keverékben inkább cementtúladagolásra lehet számítani, és nem kevesebb cementre.

Mindezek a technológiai változások a kedvezőtlen feltételekhez viszonyítva pozitív hatással vannak a beton szilárdságára, annak növekedését okozzák.

A 36.-37. ábra szerinti normális eloszlás feltételezi, hogy a szilárdságot meghatározó tényezők ingadozása véletlenszerű, tehát pozitív és negatív irányban egyaránt kifejtik a hatásukat. A fentiek miatt azonban a kis szilárdságúra terezett betonkeverékek szilárdságának a sűrűségfüggvénye nem lehet normális (még szimmetrikus sem), hanem feltételezhetően a logaritmikusan normális eloszlással közelíthető (39. ábra). Ezt számos hazai és külföldi vizsgálati adat igazolja.

A nagyszilárdságú (*C30-C55* jelű) betonok esetében az alapanyagokra, az összetételre és a készítésre szigorú követelményeket kell előírni: az adalékanyag legyen az *„A”* szemmegoszlás közelében, a beton cementtartalmát az adalékanyag pépigényétől függően optimálisra kell tervezni, a beton konzisztenciája a még megengedhető legszárazabb legyen, a bedolgozott friss beton levegőtartalma legfeljebb 1 térfogat % lehet.

Mindez azt jelenti, hogy ha a készítési paraméterek megváltoznak, akkor ez a változás általában kedvezőtlen irányban hat a beton nyomószilárdságára: az adalékanyag homoktartalma az előírtnál nagyobb, a beton konzisztenciája az előírtnál képlékenyebb, a cementtartalom az optimálistól eltérő lehet. Emiatt a nagyszilárdságú betonkeverék szilárdságának a sűrűségfüggvénye feltételezhetően nem lesz normális, hanem a nagyobb szilárdságok felé (jobbra) ferdül és szélső esetben a második alsó extremális eloszlással közelíthető a 40. ábra szerint.

A „kis” és a „nagy” szilárdság számszerű értéke valószínűleg a betonkészítő munkahely színvonalától (gépi berendezések, begyakorlottság, minőségirányítás) függően is változik. Ha egy családi ház beton és vasbeton szerkezeteit néhány segédmunkás a helyszínen készíti talicskával „kimért” homokos kavicsból, zsákra adagolt cementből, locsolóval szemre hozzáöntött vízből és kézzel keverve, akkor ezen a munkahelyen már a *C10* szilárdsági jelű betont is „nagy” szilárdságúnak lehet tekinteni. Ha ugyanakkor automata betonüzemben élesen osztályozott homokos kavicsból, begyakorlott munkaerővel, jól ellenőrzött ipari betongyártás folyik, akkor itt esetleg a *C40* szilárdsági jelű beton is csak „közepes” szilárdságú.

A fentiek miatt kell a beton 5 % alulmaradási valószínűséghez tartozó szilárdságának a számításakor az eloszlás várható ferdeségét figyelembe vevő, a (18) képlettel számítható k tényezőt alkalmazni.

5.1.2. A becslés megbízhatósága

Teljesen biztos következtetést a beton nyomószilárdságára, szórására és eloszlására csak a teljes halmaz vizsgálatából lehetne, ez azonban lehetetlen. Nagyobb mennyiségű betonkeverékből csak néhány ellenőrző próbatest készítése gazdaságos, e néhány minta vizsgálatából azonban a beton tulajdonságait csak becsülni lehet. A becslés akkor megbízható, ha hatásos, torzítatlan, konzisztens és elégséges.

Az a becslés <u>hatásosabb</u>, amelynek eredménye kisebb szórású adatokból származik. Az átlagos nyomószilárdság becslése például hatásosabb, mint a szilárdság szórásának a becslése. Ha ugyanis nagyobb betonhalmazból (pl. 300 m^3) véletlenszerűen, többször egymás után 3-3 elemű mintákat veszünk, nyomószilárdságukat

megvizsgáljuk, és az átlagos nyomószilárdságokat a 3 elemű mintákra külön-külön kiszámítjuk, akkor ezek egymástól csak kis mértékben fognak eltérni, azaz az átlagos nyomószilárdság szórása csekély lesz: a nyomószilárdság 90 % megbízhatóságú becslésére elegendő 3 db próbatest vizsgálata. Ugyanebből a betonhalmazból vett minták a szórásra csak akkor adnak ugyanilyen megbízhatóságú becslést, ha legalább 40 db próbatestet vizsgálunk meg, míg az eloszlást már csak kb. 300 db próbatest vizsgálatából lehet hasonló megbízhatósággal becsülni. Az átlagos nyomószilárdság becslése tehát hatásosabb, mint a szórásé, a szórás becslése hatásosabb, mint az eloszlásé.

A becslés akkor torzítatlan, ha a becsléssel kapott érték s a tényleges (valódi) érték közt nincs semmiféle szisztematikus, egyirányú eltérés. Következtetéseinket, becslésünket a folyamatosan készített betonból vett minta vizsgálatára és az eredményeknek a valószínűség számításra alapozott valamely matematikai-statisztikai módszerrel való értékelésére alapozzuk. Sokféle matematikai-statisztikai módszer létezik attól függően, hogy a halmaznak melyek a valószínű jellegzetességei. A becslés akkor torzítatlan, ha az eredmények értékelésére azt a matematikai-statisztikai módszert használjuk, amely a halmaz jellegzetességeihez legjobban illeszkedik. Ha pl. az egy napon belül előállított betonkeverékek kis szilárdságúak (pl. $R_m = 7\ N/mm^2$), s így valószínűleg logaritmikusan normális eloszlásúak, de az eredményeket a normális eloszlás feltételezésével értékeljük, akkor a becslésünk torzított lesz, mert ekkor pl. a küszöbszilárdságot kisebbre becsüljük a ténylegesnél.

A becslés akkor konzisztens, ha a becsült érték ingadozása a minta elemszámának a növelésével egyre csökken. Vizsgálati eredményeink mindig egy adott mennyiségű és minőségű betonra vonatkoznak. Ezt a betonmennyiséget tételnek nevezzük (a tételt az MSZ 4720 szabályozza). A tétel matematikai-statisztikai minősítésre csak akkor megfelelő, ha a minta elemei (az egyedi szilárdságvizsgálati eredmények) azonos eloszlásból valók, csak véletlenszerűen ingadoznak. Az ilyen tételből vett mintát nevezzük *reprezentatív* mintának. Adott szilárdsági jelű betonkeverék folyamatos készítése során számos olyan tényező van, amelynek változása a szilárdságot nem véletlenszerűen befolyásolja. Néhány ilyen tényező:

- a cement tényleges kötőereje: ha ugyanabból a gyárból származó, ugyanolyan márkajelű cement egyik szállítmányának a kötőereje pl. 35 N/mm^2, a másiké 45 N/mm^2, akkor a 45 N/mm^2 kötőerejű cementből nagyobb szilárdságú beton készíthető, mégpedig törvényszerűen és nem véletlenül,
- az adalékanyag szemmegoszlása: ha ugyanarról a termelőhelyről, ugyanolyan termékjelű szállítmányok között az egyiknek kisebb, a másiknak nagyobb a finomsági modulusa, akkor változatlan cementtartalom és konzisztencia mellett ennek hatása nem véletlenszerű, mert a nagyobb finomsági modulusú adalékanyaghoz adott konzisztencia elérésére kevesebb vizet kell hozzáadni, így kisebb lesz a víz/cement tényező, nagyobb lesz a betonszilárdság,
- az időjárás változása: hidegben a beton lassabban, melegben gyorsabban szilárdul; az esős időjárásban átnedvesedett adalékanyagból sokszor készítenek kisebb szilárdságú betont, mint a szárazból, mert nem veszik figyelembe az adalékanyag nedvességtartalmát,
- a próbatestek tömörségének a változása: a szilárdságvizsgálatra készített kockák tömörítésére használt eszközök nem mindig kellő hatékonyságúak, vagy túlságosan hosszú idő telt el a betonminta kivétele és a próbatest készítése között, és ezért a kockák betonjának a tömörsége a szerkezeténél kisebb lehet, továbbá az emberi tényezők következtében még ugyanazzal a tömörítő eszközzel is eltérő tömörségű próbatesteket készíthetnek, emiatt a szilárdság nem véletlenszerűen, hanem törvényszerűen változik.

Könnyű belátni, hogy ha ezeket a törvényszerű változásokat elhanyagoljuk és több tételből származó minták eredményeit együtt értékeljük, azaz, ha a minta nem reprezentatív, akkor a minta elemszámának a növelésével a vizsgált tulajdonság (átlagos nyomószilárdság, szórás, eloszlás) ingadozása növekszik, a becslés tehát nem konzisztens.

A becslés akkor elégséges, ha minden információt tartalmaz a vizsgált tulajdonságra vonatkozóan. A beton nyomószilárdságának a vizsgálatakor lényeges információk: a beton összetétele (cementfajta, adalékanyag finomsági modulusa, szennyezettsége és egyenlőtlenségi tényezője, víz/cement tényező, keverési arány, adalékszer és kiegészítő anyag fajtája, mennyisége), a készíts napja (a beton kora), a tömörség (készítési testsűrűség) és a szilárdság, valamint a beton terv szerinti jele. Ezek nélkül az információk nélkül ugyanis nem lehet megállapítani, teljesültek-e a tételbe tartozás feltételei, és nem lehet értékelni az esetleges hibák okait sem.

Ha a becslés megbízhatóságának fenti ismérvei teljesülnek, akkor következtetéseink nagy valószínűséggel megegyeznek a valósággal, ellenkező esetben viszont mind műszaki, mind gazdasági károkat okozhat a nem megbízható értékelés.

5.1.3. Példák a beton nyomószilárdságának a becslésére

Próbakockák (15 cm élhosszúság) vizsgálati eredményei alapján *C16* szilárdsági jelű betont kell minősíteni. Rendelkezésre áll 37 vizsgálati eredmény, azonban az adatok nem elégségesek annak megállapítására, hogy a próbakockák egy tételből származnak-e. Ez az eset fordul elő általában akkor, amikor monolit betonszerkezeteket transzportbetonból készítenek a szerkezet kivitelezője ritkán kap a betongyárból elegendő felvilágosítást a betonkeverék-szállítmányok jellemzőiről (pl. arról, hogy mely keverékek készültek azonos időben szállított cementből és adalékanyagból).

Legyenek a próbatestek vizsgálati eredményei a 15. táblázat szerintiek. A *C16* jelű beton 15 cm-es kockákkal ellenőrizve akkor megfelelő, ha $R_{k,15} = 20\ N/mm^2$.

15. táblázat: Példa 15 cm élhosszúságú próbakockák vizsgálatára

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
R_i	28,6	24,2	31,8	21,6	29,6	22,5	28,4	26,4	31,2	29,4	27,3	33,3	31,9	47,2	41,3	44,2	36,3	49,4	43,6
n	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	-
R_i	38,9	46,5	48,5	53,4	46,1	36,3	31,4	34,5	41,6	32,5	19,1	26,6	39,2	34,4	36,5	38,6	37,0	43,8	-

Jelmagyarázat: n = sorszám; R_i = nyomószilárdság, N/mm²

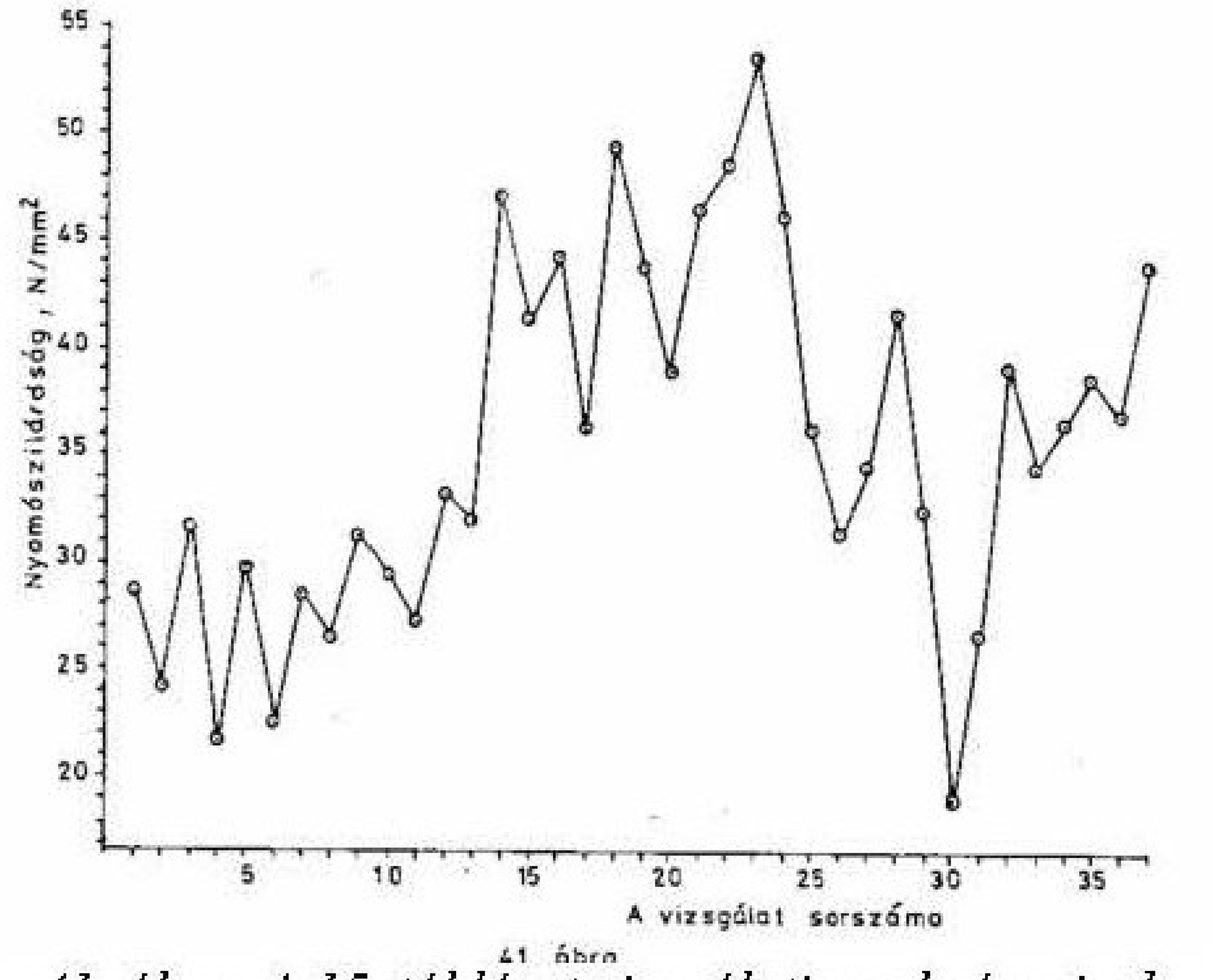
Első közelítésként a 37 adatot egy tételből valónak tekinthetjük, amelynek számítási eredményei:

- átlagos nyomószilárdság: $R_m = 35,4\ N/mm^2$
- a nyomószilárdság szórása: $s = 8,52\ N/mm^2$
- a ferdeségi együttható: k = 1,15
- Student-tényező: 1,68
- Az 5 % alulmaradási valószínűséghez tartozó szilárdság (minősítési szilárdság): $R_k = 35,4 - 1,15 \times 1,68 \times 8,52 = 18,9\ N/mm^2 < 20\ N/mm^2$

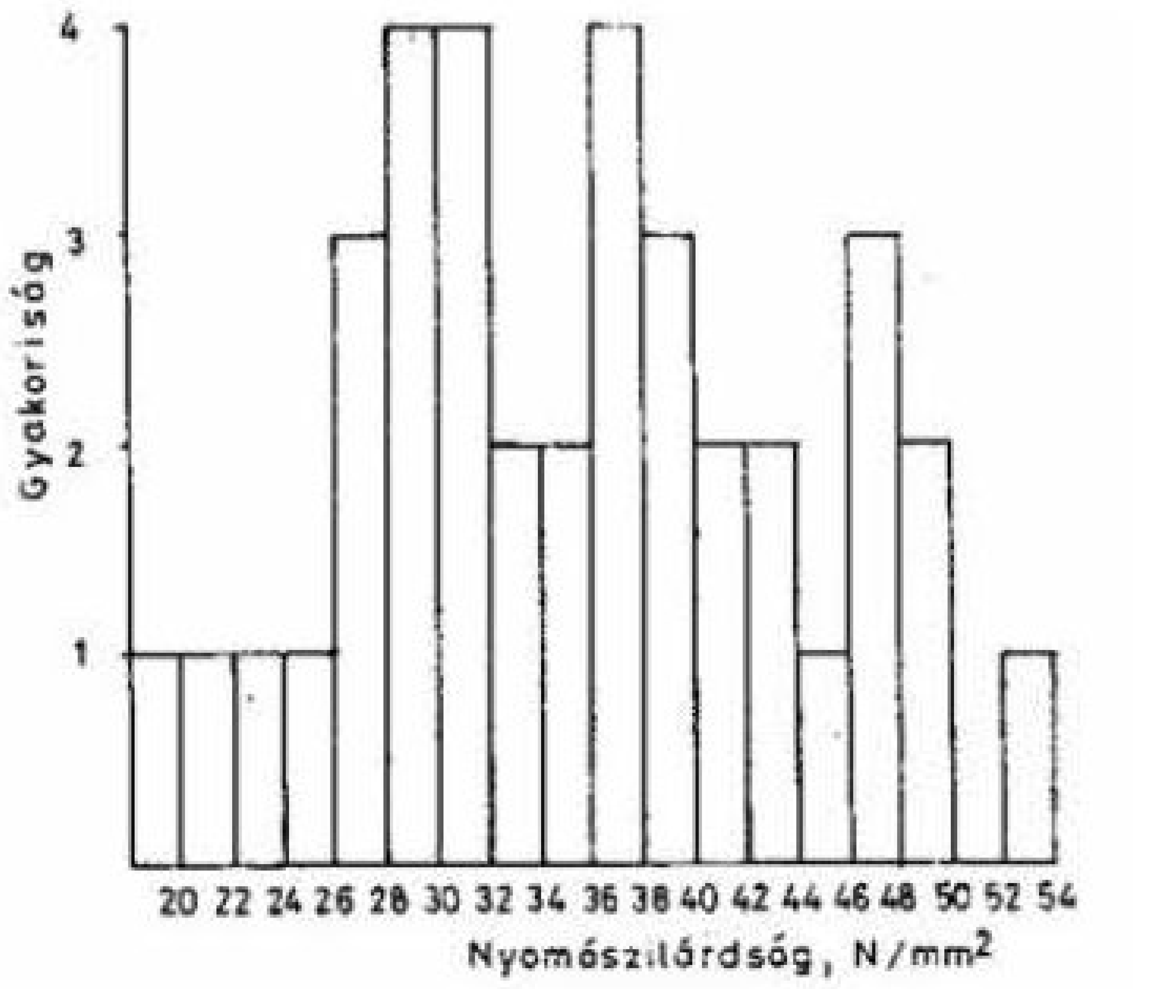
Ebből következik, hogy ha a vizsgált beton valóban egy tétel, akkor nem felel meg az MSZ 4719 követelményeinek, a beton nem minősíthető *C16* jelűnek, csak legfeljebb *C12* jelűnek.

Meg kell tehát vizsgálni, hogy a 37 adat egy tételbe tartozik-e.

Mindenekelőtt célszerű a vizsgálati eredményeket a próbatestek készítésének időrendjében ábrázolni (ez megegyezik a sorszámozással). Ez látható a 41. ábrán. Érdemes továbbá az adatokból gyakorisági hisztogramot is szerkeszteni a 42. ábrának megfelelően.



41. ábra: A 15. táblázat vizsgálati eredményeinek grafikonja



42. ábra: A 15. táblázat adatainak gyakorisági hisztogramja

Mindkét ábrából azt lehet feltételezni, hogy a vizsgálatok eredményei nem egy tételből valók. A különböző tételek szétválasztására meg lehet vizsgálni a szórás konzisztens voltát. A Jegyzet 5.1.2. fejezete szerint ugyanis a becslés akkor konzisztens, ha a becsült érték (jelen vizsgálat során a szórás) ingadozása a minta elemszámának a növelésével egyre csökken. Ha ez a feltétel nem teljesül, akkor feltételezhető, hogy az adatok nem egy tételből valók. Az eljárás a következő:

Először kiszámítjuk az 1.-3. sorszámú adatok szórását (a szórás számításához legalább 3 adat szükséges), majd rendre egy-egy, az időrend szerinti újabb adat bevonásával ismét szórást számítunk (1-4, 1-5, … 1-37 adatok). Az adatok addig tekinthetők egy tételbe tartozóknak, amíg az egy-egy újabb adat bevonásával számított szórások ingadozása csökken (nem feltétlenül a szórás értékének, hanem az értékek ingadozásának kell csökkenie). A számítások eredményeit a 16. táblázat tartalmazza.

16. táblázat: A szórás konzisztens voltának ellenőrzése

n	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	1-9	1-10	1-11	1-12	1-13	1-14	1-15	1-16	1-17	1-18	1-19	1-20
s	3,82	4,54	4,15	4,16	3,88	3,59	3,69	3,55	3,37	3,64	3,66	6,19	6,69	7,34	7,21	8,18	8,35	8,23
n	1-21	1-22	1-23	1-24	1-25	1-26	1-27	1-28	1-29	1-30	1-31	1-32	1-33	1-34	1-35	1-36	1-37	-
s	8,52	8,87	9,51	9,55	9,35	9,20	9,03	8,93	8,79	9,16	9,14	9,02	8,88	8,75	8,64	8,52	8,52	-

Jelmagyarázat: *n* = az adatcsoportban lévő sorszámok, *s* = az adatcsoport szórása, N/mm²

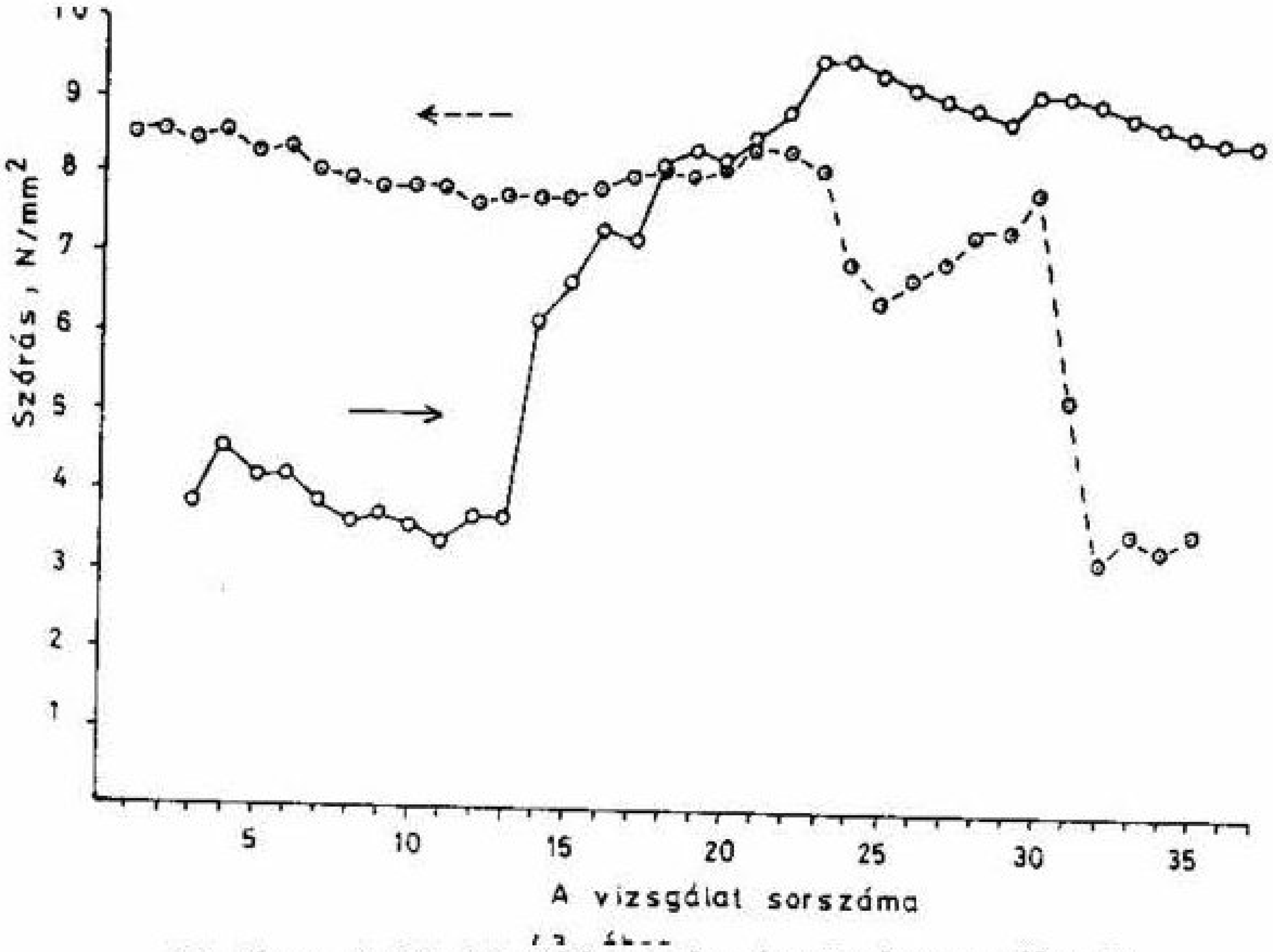
Ugyanezt a számítást megfordított sorrendben is érdemes elvégezni, azaz először a 37-35 sorszámú 3 adat szórását számítjuk ki, majd visszafelé haladva egy-egy újabb adat bevonásával a 37-34, 37-33….37-1 adat-

csoportok szórását határozzuk meg. Ezeknek a számításoknak az eredményeit foglalja össze a 17. táblázat.

17. táblázat: A szórás konzisztens voltának ellenőrzése megfordítva

n	37-35	37-34	37-33	37-32	37-31	37-30	37-29	37-28	37-27	37-26	37-25	37-24	37-23	37-22	37-21	37-20	37-19	37-18
s	3,56	3,34	3,54	3,20	5,29	7,88	7,40	7,36	6,99	6,74	6,47	6,92	8,10	8,36	8,39	8,14	8,01	8,18
n	37-17	37-16	37-15	37-14	37-13	37-12	37-11	37-10	37-9	37-8	37-7	37-6	37-5	37-4	37-3	37-2	37-1	-
s	8,00	7,89	7,72	7,73	7,72	7,65	7,83	7,87	7,83	7,98	8,02	8,31	8,27	8,54	8,45	8,56	8,52	-

Már ennek a két táblázatnak az ö9sszevetése is mutatja, hogy az adatok legalább három különböző tételből valók, de ez még szembetűnőbbé válik, ha a 16.-17. táblázatok számítási eredményeit a 43. ábrán látható módon megszerkesztjük.



43. ábra: A 16.-17. táblázatok adatainak a grafikonja

Az ábrán jól szemlélhető, hogy az 1.-től a 13. sorszámú próbatestig a szórás konzisztens (ingadozása csökken), majd a 14. próbatestet is számításba véve a szórás változása hirtelen megnő. Így az első tétel feltételezhetően az 1.-13. sorszámú próbatestekből álló halmaz. A megfordított sorrendben végzett számítások eredményeiből az látható, hogy a szórás a 32. próbatest bevonása után hirtelen megváltozik, de utána a 25. próbatestig ismét csökken, majd a 24. próbatestet is számításba véve újból ugrásszerű változás észlelhető. Ebből következően a második tétel a 14.-24. próbatesteket tartalmazó halmaz lehet. Ugyanerre a megállapításra juthatunk, ha a 14. próbatesttől elkezdve vizsgáljuk a szórás változását: a 24. próbatestig a szórás változása csökkenő, a 25. után növekvő tendenciájú.

Ezután már lehetővé válik az értékelés az elkülöníthető tételekkel a következő eredményekkel:

- első halmaz (1.-13. próbatestek átlagos nyomószilárdsága: $R_m = 31,9\ N/mm^2$, szórása: $s = 3,7\ N/mm^2$, végül minősítési szilárdsága: $R_k = 31,9 - 1,09 \times 1,76 \times 3,7 = 24,9\ N/mm^2$
- második halmaz (14.-24. próbatestek) átlagos nyomószilárdsága: $R_m = 44,3\ N/mm^2$, szórása: $s = 5,3\ N/mm^2$, végül minősítési szilárdsága: $R_k = 44,3 - 1,2 \times 1,77 \times 5,3 = 33,1\ N/mm^2$
- harmadik halmaz (25.-37. próbatestek) $R_m = 34,6\ N/mm^2$, szórása: $s = 6,7\ N/mm^2$, végül minősítési szilárdsága: $R_k = 34,6 - 1,13 \times 1,76 \times 3,7 = 21,3\ N/mm^2$

Minthogy valamennyi tételre $R_k > 20\ N/mm^2$, ezért a teljes betonhalmaz megfelelőnek minősíthető.

Meg kell jegyezni, hogy az MSZ 4720/2 nem paraméteres minősítési módszere szerint, ha legalább 14 db próbatest vizsgálati eredménye áll rendelkezésre, akkor ezek a közül a legkisebb szilárdság, míg 32 db próbatestből a második legkisebb szilárdág tekinthető egyenlőnek a minősítési szilárdsággal. A 15. táblázatban a második legkisebb szilárdság $R_m = 21,6\ N/mm^2$, s mivel $21,6 > 20\ N/mm^2$, ezért e szerint a minősítés szerint is a vizsgált beton *C16* szilárdsági jelűnek fogadható el.

Meg kell jegyezni továbbá, hogy a tételek 43. ábra szerinti szétválasztása csak akkor ad megfelelő eredményt, ha a vizsgálatok rövid időközönként követik egymást (legalább naponta egy, de inkább több alkalommal vettek mintát). Ritkább mintavétel (pl. hetenként egy) mellett igen nagy ugyanis a valószínűsége, hogy minden egyes vizsgálati eredmény más-más tételből származik, tehát a szórás konzisztens voltának az ellenőrzése nem ad megbízható következtetésre lehetőséget.

Adott üzemben sorozatban készített, adott szilárdsági jelű beton szórását az MSZ 4720/2 szerint legalább 8, egymás utáni tételből vett legalább 10-10 próbatest vizsgálata alapján lehet meghatározni. Erre a vizsgálatra mutat be eredményeket a következő példa.

A készítendő beton szilársági jele *C30*, amelyet az adott üzem nagy sorozatban készít. Az üzem – felszereltsége alapján – „B" kategóriájúnak minősíthető, ezért az MI szerint a nyomószilárdság szórása $s = 4\ N/mm^2$ értékkel vehető figyelembe. Ha az üzem 15 cm élhosszúságú próbakockákkal ellenőrzi a beton szilárdságát, akkor a szükséges átlagos nyomószilárdság: $R_m = 35 + 1,23 \times 1,645 \times 4 = 43,6\ N/mm^2$, Az üzem $D = 16\ mm$ legnagyobb szemnagyságú, $V_{po} = 250\ l/m^3$ pépigényű és *KK* konzisztenciához $w_a = 7\ \%$ vízigényű homokos kaviccsal, valamint váci 350kspc20 kohósalak portlandcementtel készíti a betonkeverékeket.

A (67) képletnek megfelelően ez a nyomószilárdság $x' = (ln\ 96 - ln\ 43{,}6) / 1{,}8 = 0{,}44$ módosított víz/cement tényezővel érhető el. Hiánytalan tömörítés mellett az ehhez szükséges cementtartalom 500 kg/m^3.

A cementtartalom csökkentése érdekében az üzem az MSZ 4720/2 szerint megvizsgálta az üzemi szórás Tényleges értékét és a 18. táblázatban összefoglalt eredményeket kapta. Minthogy a nyolc tétel elemszáma különböző, ezért a szórást az MSZ 4720/2-ben közölt, a (77) alatt bemutatott képletből kell kiszámítani.

18. táblázat: Példa az üzemi szórás vizsgálatára

Sorszám	I	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
	tételből vett próbatestek nyomószilárdsága, N/mm²							
1	45,3	46,8	47,4	50,4	42,5	38,3	42,8	46,7
2	42,0	48,7	43,7	52,6	38,8	42,1	36,2	44,1
3	43,4	50,6	41,5	53,9	40,3	42,8	45,2	39,4
4	47,0	47,5	46,2	48,9	41,5	41,7	41,4	45,3
5	39,0	45,4	46,9	52,1	35,6	36,2	43,5	46,5
6	36,0	49,3	49,3	46,6	34,3	42,4	42,3	45,4
7	44,9	46,2	44,6	54,6	39,6	39,6	38,8	48,8
8	37,8	41,0	42,2	51,5	40,8	43,7	44,9	44,6
9	46,2	48,1	38,3	55,2	37,2	40,5	47,0	42,5
10	45,6	48,4	44,5	52,6	41,9	38,1	52,5	47,4
11	49,2	53,2	46,6	48,1	43,2	43,9	49,4	41,0
12	44,7	49,8	40,6	53,4	39,4	42,7	51,5	44,7
13		42,9	46,2		40,4		53,9	43,4
14		51,5	48,4		36,7		52,4	
15			45,7				48,6	
16							55,2	
17							53,1	
18							50,3	
R_m	43,4	47,8	45,1	51,7	39,4	41,0	47,2	44,6
s	3,98	3,26	3,15	2,67	2,65	2,46	5,56	2,59
R_m^2	1884	2285	2034	2673	1552	1681	2228	1989
$v_U \cdot R_m^2$	22603	31988	32544	32075	21733	20172	40101	25859
$\sum R_{UV}^2$	22803	32145	32657	32102	21872	20238	40570	25940

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{u=1}^{N}\sum_{v=1}^{v_u}\left(R_{uv} - R_{um}\right)^2}{\sum_{u=1}^{N} v_u - N}} = \sqrt{\frac{\sum_{u=1}^{N}\left(\sum_{v=1}^{v_u} R_{uv}^2 - v_u \times R_{um}^2\right)}{\sum_{u=1}^{N} v_u - N}} \qquad (77)$$

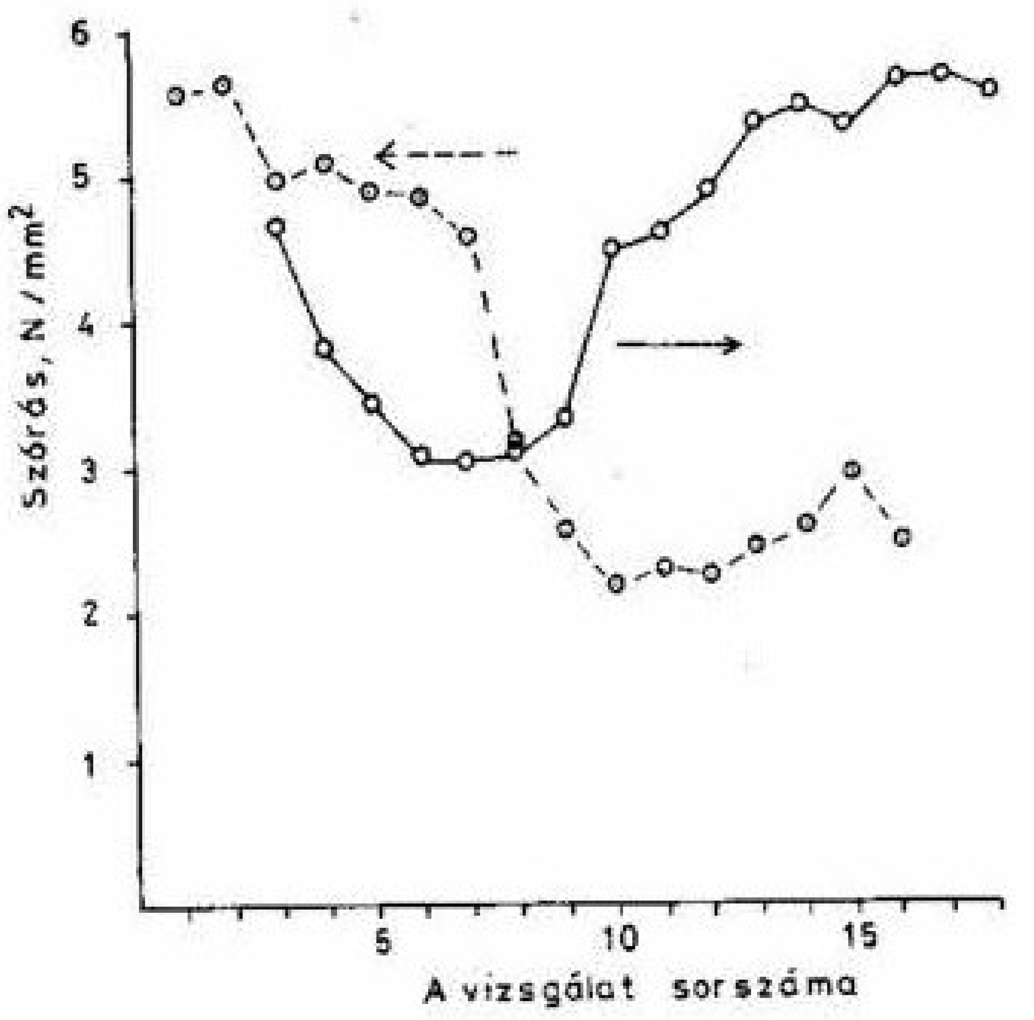
ahol $R_{u,v}$ = az u-dik tétel v-dik eleme (v = 1, 2… v_u)

v_u = az u-dik tétel elemszáma

u = 1, 2 …N

R_{um} = az u-dik tétel vizsgálati eredményeinek az átlaga

A (77) képlet tényezőinek értékei a 18. táblázatban megtalálhatók, e tényezőknek a képletbe való behelyettesítésével számítható az üzemi szórás, értéke $s = 3,5\ N/mm^2$.



44. ábra: A 8. táblázat VII. tétel szórásának ellenőrzése

A 18. táblázat VII. tétele feltételezhetően kevert tétel annak ellenére, hogy – mint minden egyes tétel - egy napi termelésből származik. Célszerű tehát a szórás konzisztens voltát ellenőrizni a 43. ábra analógiájára. A számítás eredményeként a 44. ábrához jutunk, amelyből megállapítható, hogy külön tételbe tartozik a VII. 1.- VII. 9. és a VII. 10.-VII. 18. sorszámú elemekből álló halmaz.

A VII. tételt ennek megfelelően ketté kell bontani és a szórást külön-külön kell meghatározni. A számítás végeredménye:

- VII. 1.-VII. 9. elemek szórása: $s = 3,34\ N/mm^2$;
- VII. 10.-VII. 18. elemek szórása: $s = 2,14\ N/mm^2$.

A 18. táblázat VII. tételének szórása eredetileg $s = 5,56\ N/mm^2$ volt, ehelyett kell a fenti értékekkel korrigálni az üzemi szórást, amelynek végleges értéke: $s = 2,9\ N/mm^2$ ($s = 3,5\ N/mm^2$ helyett). A *C30* szilárdsági jelű beton szükséges átlagos nyomószilárdsága 15 cm élhosszúságú kockán ellenőrizve tehát:

$$R_m = 35 + 1,2 \times 1,645 \times 2,9 = 41,2\ N/mm^2$$

Ezt a nyomószilárdságot a (67) képlet szerint $x' = (ln96 - ln41,2) / 1,8 = 0,47$ módosított víz/cement tényezővel lehet elérni. Az üzemben használt homokos kavics ($V_{po} = 250\ l/m^3$, $w_a = 7\ \%$, D = 16 mm) és 350kspc20 mellett a szükséges cementtartalom: $m_c = 360\ kg^3$.

Az üzemi szórás korrekt megállapítása eredményeképpen a cementadagolás 500 kg/m^3-ről (s = 4 N/mm^2 mellett) tehát 360 kg/m^3-re (s = 2,9 N/mm^2 szórás mellett) csökkenthető.

5.2. A beton nyomószilárdságának a vizsgálata

A beton nyomószilárdságát, vagy a betonkeverékből készített, vagy a megszilárdult beton, illetve vasbeton szerkezetből kimunkált próbatestek roncsolásos vizsgálatával lehet ellenőrizni. A próbatestek lehetnek különböző élhosszúságú kockák, vagy különböző átmérőjű és magasságú hengerek.

A hazai anyagvizsgáló szervezetek és üzemi laboratóriumok mindegyike 20 cm élhosszúságú kockák szilárdságának megállapítására alkalmas, erre a célra kialakított tömörítő eszközökkel és törőgépekkel van felszerelve, mert az utóbbi 70 évben ez a próbatest-méret és –alak volt szabványosítva. Ugyanolyan szilárdságú betonból készített, de különböző méretű és alakú próbatestek teherbíró képessége azonban eltérő, ha azokat ugyanazzal a törőgéppel vizsgáljuk, pl. olyan berendezéssel, amelynek a próbatest szabatos befogásához szükséges gömbcsuklója a 20 cm élhosszúságú kockához illesztett átmérőjű.

Tovább nehezíti a különböző méretű és alakú próbatestek mért szilárdságának az összehasonlítását, hogy a beton adalékanyagának a legnagyobb szemnagysága és a beton összetétele is befolyásolja az adatokat, mégpedig a próbatestek alakjától és méretétől eltérő módon. Hazánkban a henger- és a kockaszilárdságok átszámítását az is bizonytalanná teszi, hogy a hengerpróbatesteket évtizedek óta alkalmazó államokban (USA, Anglia stb.) a henger nyomandó felületeinek a lesimításához kénhabarcsot használnak, és ezzel csökkentik a vizsgálati eredmények szórását. A hazai anyagvizsgáló szervezetek egyikében sincs azonban ennek a munkának az elvégzéséhez alkalmas (külföldön már régóta alkalmazott) egyszerű berendezés. Ezért a próbatestek nyomandó felületeit cement- vagy gipszhabarccsal simítják le, ami kedvezőtlenül befolyásolja az eredmények pontosságát.

Az átszámítás bizonytalansága tükröződik az MSZ 4720 és MSZ 4715/4 szabványokban is, amelyek eltérően írják elő a különböző méretű próbatesteken mért szilárdságok összehasonlítását. Az MSZ 4719 szerint ugyanis a 20 cm élhosszúságú kockán és az ∅ 15 × 30 cm-es hengeren mért nyomószilárdság küszöbértékének a viszonya kb. 1,1 (s ez megfelel az átlagos nyomószilárdságok 1,1 viszonyának), míg az MSZ 4715/4 szerint ugyanezeknek a próbatesteknek a nyomószilárdsági viszonya 1,25. Az ÉTI vizsgálatai szerint a kocka- és hengerszilárdságok aránya szélső esetben 1,2-2,0 értékek között is változhat.

Meghatározott méretű, kis térfogatú formában viszonylag kevesebb nagyméretű adalékanyag-szemcse fér el, mint egy megbontatlan, nagykiterjedésű szerkezetben. Miután a határfalak (sablonoldalak) mellé kerülő nagy szemcséket nem lehet elvágni, méretüket kell korlátozni, különben a kisméretű próbatestformába bedolgozott beton struktúrája nem egyezne meg a szerkezeti beton struktúrájával (*Caquot-féle* falhatás). A 30 cm élhosszúságú kockába legfeljebb 63 mm, a 20 cm élhosszúságú kockába legfeljebb 32 mm, a 15 cm élhosszúságú kockába és az ∅ 15 × 30 cm-es hengerbe legfeljebb 24 mm legnagyobb szemnagyságú adalékanyaggal készített beton dolgozható be ugyanolyan feltételek mellett, mint általában a szerkezetekbe.

Mindezek miatt célszerű, ha az ellenőrző betonpróbatestek készítésére 20 cm (D = 32 mm-ig), illetve 15 cm (D = 24 mm-ig) élhosszúságú kockákat használunk, kiküszöbölve ezzel a vizsgálati és átszámítási bizonytalanságokat.

A próbatestek vizsgálati eredménye csak akkor jellemző a beépített beton szilárdságára, ha a próbatest és a szerkezet betonjának tömörsége megegyezik. A próbatest tömörítésére fél évszázaddal ezelőtt szabványosí-

tottak eljárásokat: a földnedves betont 12 kg tömegű fémdöngölővel, a kissé képlékeny betont fémlappal védett, 4 kg-os fadöngölővel, a képlékeny és a folyós betont csömöszöléssel kellett tömöríteni, illetve a szabvány a megfelelő konzisztenciájú beton vibrálását is megengedte. Ha a próbatesteket az ÉPGÉP RZ-4 laboratóriumi asztalvibrátoron tömörítik, akkor rendszeresen szükséges lenne cserélni a gumituskókat, de még így is megfigyelhető, hogy a próbatestek tömörsége elmarad a beépített betonétól.

Annak érdekében, hogy az ellenőrző vizsgálatra készített próbatestek tömörsége (és egyúttal szilárdsága) megegyezzék a szerkezetével, célszerű a földnedves betonokat vibrodöngölővel (pl. HILTI-kalapácsra szerelt tömörítőfejjel), a kissé képlékeny és képlékeny betonokat kombinált eljárással tömöríteni: a levegő egy részének kiűzésére először csömöszölni s ezt követően vibrálni. A készítési testsűrűséget mindenképpen mérni kell.

A szabvány megengedi, hogy egy mintából egy próbatest készüljön s ennek szilárdsága egy vizsgálati eredménynek tekinthető, de azt is megengedi, hogy az egy keverésből készített 3 db próbatest átlagos nyomószilárdsága legyen egy vizsgálati eredmény. A mintavételt és a próbatestek készítésének munkahelyi feltételeit tekintve ajánlatos ez utóbbi eljárás követése; mind az átlagos nyomószilárdság, mind a szórás becslése így megbízhatóbb.

5.3. A beton nyomószilárdságának a minősítése

A betonokat az MSZ 4720 szerint kell minősíteni, mégpedig a szabvány paraméteres vagy nem paraméteres matematikai-statisztikai értékelési módszere segítségével.

A paraméteres módszer ismertnek tételezi fel a betonszilárdság valószínűségi eloszlását, előírja a szórás vizsgálatát és ennek segítségével számítja a minősítési szilárdságot a (17) képlettel.

A nem paraméteres módszer legalább 14 minta szilárdságának a vizsgálatát írja elő. Az eredmények közül a legkisebb minősítési szilárdságnak tekinthető. Ha legalább 32 vizsgálati eredmény van adott munkahelyen ugyanolyan szilárdsági jelű betonra, akkor a második legkisebb vizsgálati eredmény egyenlő a minősítési szilárdsággal.

Egy szabványban kétféle becslési – minősítési – eljárás akkor állja meg a helyét, ha ezek külön-külön hatásosak és ha a kétféle módszerrel kapott becslés egyforma minősítést tesz lehetővé. Ennek eredményeképpen

- elegendő biztonságot ad a tervező részére a szerkezet teherbíró képességéről, állékonyságáról, továbbá
- segíti a beton készítőjét a szükséges minőségű beton gazdaságos – cementtakarékos – előállításában.

A tervező akkor kap elegendő biztonságot, ha a minősítés eredményeképpen csak minimális annak a valószínűsége (mégpedig 5 5), hogy a készített betonban a minősítési szilárdságnál kisebb szilárdságú keverékek is előfordulnak.

A betontechnológust akkor segíti a minősítés, ha az egyébként egyenletes szilárdságú beton készítésekor véletlenszerűen keletkező, a szükségesnél nagyobb szilárdságú betonkeverék vizsgálati eredménye nem okoz a minősítési szilárdság számított értékében hirtelen csökkenést (a szórás növekedése miatt).

Vizsgáljuk meg tehát egyrészt a betonszerkezetet méretező statikus, másrészt a beton összetételét meghatározó betontechnológus szemszögéből az MSZ 4720 kétféle minősítési módszerét.

19. táblázat: Számítások az MSZ 4720 paraméteres módszerével

A beton jele	$R_{k,2o,nom}$ N/mm²	R_1 N/mm²	db	R_2 N/mm²	db	R_m N/mm²	s N/mm²	k	R_k N/mm²
C6	7	10	12	6	2	9,4	1,45	0,86	7,2
			11		3	9,1	1,70	0,86	6,6
			13	5	1	9,6	1,34	0,87	7,6
			12		2	9,3	1,82	o,86	6,6
			13	4	1	9,6	1,60	o,87	7,1
			13	3,5	1	9,5	1,74	o,86	6,9
		10	12	17	2	11,0	2,54	o,89	7,1
			11		3	11,5	2,98	o,9o	6,8
			13	18	1	1o,6	2,14	o,88	7,3
			12		2	11,1	2,91	o,89	6,6
			13	19	1	1o,6	2,41	o,88	6,9
C16	19	25	12	18	2	24,0	2,54	1,05	19,3
			11		3	23,5	2,98	1,05	18,1
			13	17	1	24,4	2,14	1,05	20,5
			12		2	23,9	2,91	1,05	18,6
			13	16	1	24,4	2,41	1,05	20
			13	15	1	24,3	2,67	1,05	19,4
			13	14	1	24,2	2,94	1,05	18,8
		25	12	36	2	26,6	3,99	1,08	19,1
			13	37	1	25,9	3,21	1,07	19,9
			13	38	1	25,9	3,35	1,07	19,6
			13	39	1	26,0	3,74	1,07	19,0
			13	40	1	26,1	4,01	1,07	18,6
C35	38	50	13	35	1	48,9	4,01	1,27	40,1
			13	33	1	48,8	4,54	1,26	38,7
			13	32	1	48,7	4,81	1,26	38,1
			13	31	1	48,6	5,08	1,26	37,4
		50	13	70	1	51,4	5,35	1,28	39,4
			13	71	1	51,5	5,61	1,28	38,9
			13	72	1	51,6	5,88	1,29	38,4
			13	73	1	51,6	6,15	1,29	37,8

Ehhez a vizsgálathoz *C6, C16* és *C35* szilárdsági jelű, 14 elemű betonhalmazokat képeztünk 20 cm élhosszúságú kockán mért szilárdsági adatokból. Egy-egy sorozaton belül a nyomószilárdságok nagy része 10 (*C6* jelű sorozatra), 25 (*C16* jelű sorozatra) és 50 (*C35* jelű sorozatra) N/mm² értékű, míg néhány elemé fokozatosan csökken a minősítési szilárdság előírt értéke alá, illetve fokozatosan növekszik az átlagszilárdság fölé. Kiszámítottuk a különböző halmazok átlagos nyomószilárdságát és szórását, végül a (17) és (18) képletekkel a minősítési szilárdságot. Az adatokat a 19. táblázatban foglaltuk össze.

A 19. táblázat első adatcsoportjának (*C6* jelű beton, $R_{k,20,nom}$ = *7 N/mm²*) gyakorisági hisztogramját – a könnyebb tájékozódás érdekében – a 45. ábrán megrajzoltuk.

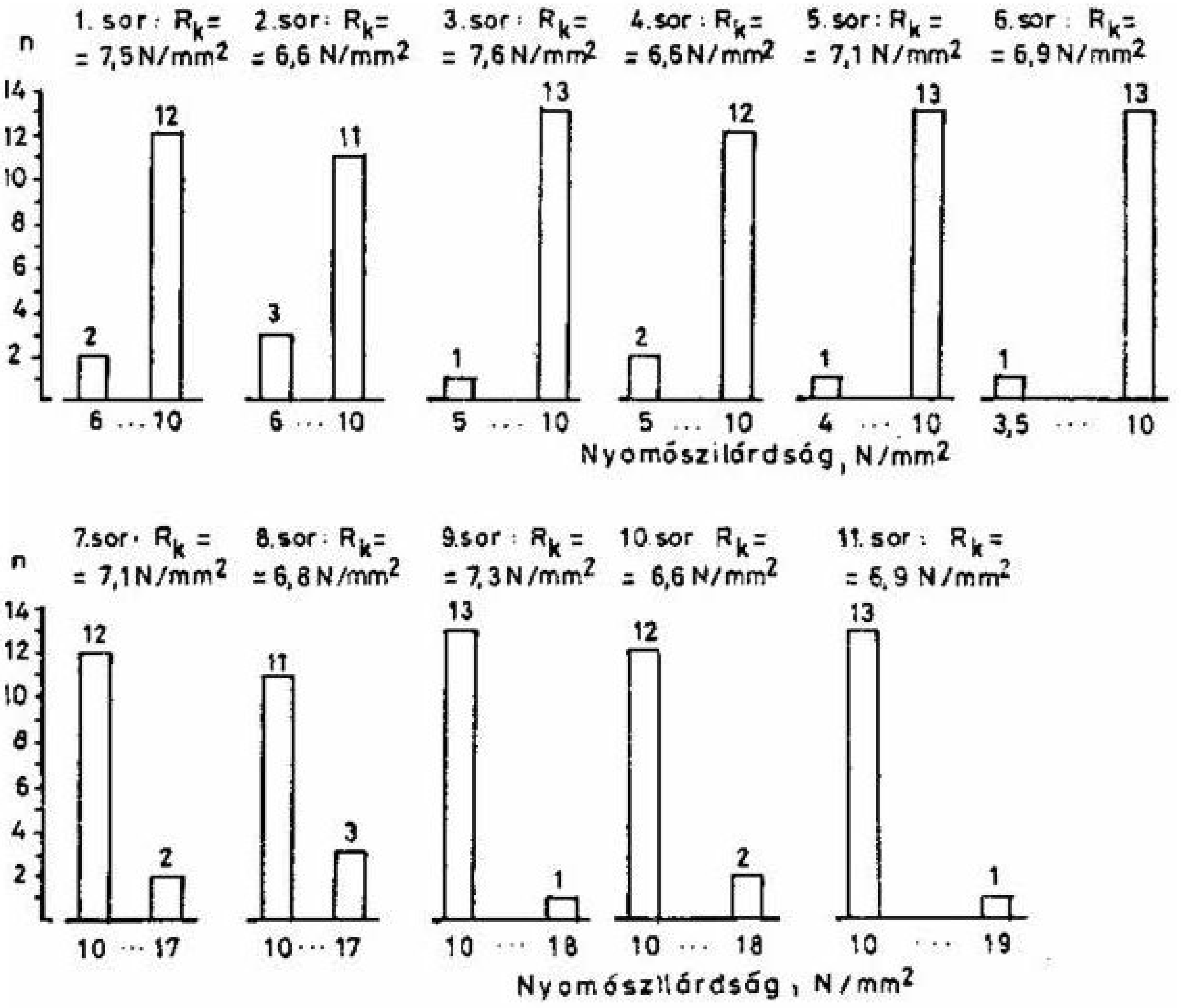
A tervező akkor érezheti magát biztonságban, ha visszautasíthatja annak a szerkezetnek az átvételét, amelynek betonjából vett minták közül akár egy is kisebb szilárdságú, mint az előírt minősítési szilárdság. Ezzel szemben a 19. táblázat szerinti számítások azt mutatják, hogy a 14 elemű mintát az MSZ 4720 paraméteres módszere szerint értékelve több minta is lehet az előírt minősítési szilárdság alatt, illetve *C6* jelű betonok esetében 3 N/mm²-rel, *C16* jelű beton esetében 4 N/mm²-rel, *C35* jelű beton esetében 6 N/mm²-rel kisebb szilárdságú elem is előfordulhat a halmazban, mégis át kell, hogy vegye a szerkezetet a tervező.

A nem paraméteres eljárással értékelve a tervező mindazon szerkezetek átvételét elutasíthatja, amelynek betonjából vett 14 elemű mintában egyetlen, az előírt minősítési szilárdságnál kisebb szilárdságú elemet talál. A tervező számára tehát az MSZ 4720 nem paraméteres eljárása nyújt nagyobb biztonságot.

A betontechnológus olyan betonösszetételt igyekszik előírni, amelyet alkalmazva több kedvezőtlen körülmény egyidejű előfordulása esetén is kellő biztonsággal el lehet érni az előírt minősítési szilárdságot, egyúttal tudomásul veszi, hogy viszont a kedvező körülmények találkozásakor a szilárdság lényegesen nagyobb lesz a szükségesnél. A minősítés módszerét a beton készítője akkor ítélheti gazdaságosnak, ha nem kényszeríti a szükségesnél lényegesen nagyobb szilárdságok elérésére. Ezzel szemben a 19. táblázat szerinti számítások azt mutatják, hogy egy 14 elemű mintát az MSZ 4720 paraméteres módszere szerint értékelve már egyetlen kiugróan magas szilárdság is a szerkezet átvételének az elutasításához vezethet: *C6* jelű beton esetében az átlagos nyomó-

szilárdságot 8 N/mm²-rel, *C16* jelű beton esetében 14 N/mm²-rel, *C30* jelű beton esetében 21 N/mm²-rel meghaladó szilárdságú egyetlen elem az átvételt meghiúsíthatja.

A nem paraméteres eljárás szerint a 14 elemű minták vizsgálata alapján mindaddig megfelelőnek kell minősíteni a betont, amíg a legkisebb szilárdság eléri vagy meghaladja az előírt minősítési szilárdságot. A beton készítője számára ez az értékelési módszer nyújt megfelelő biztonságot.



45. ábra: A 19. táblázat néhány adatsorának a gyakorisági hisztogramja

A 19. táblázatban látható példákban lényegében két különböző tételből származó betonkeverék-halmaz együttes értékelése van összefoglalva, és ez okozza a paraméteres és a nem paraméteres módszer közötti eltéréseket. Az MSZ 4720 intézkedik arról, hogyan kell a tételeket elkülöníteni, ez azonban a gyakorlatban sokszor megoldhatatlan (pl. a silókban a különböző cement-, illetve a depóniákban a különböző adalékanyag-szállítmányokat nem lehet egymástól elhatárolni). Ezért a gyakorlatban rendszeresen lehet tapasztalni több tétel együttes értékelését s az ebből eredő téves, félrevezető minősítéseket. A 19. táblázat ugyan mesterséges, szélsőséges példákat ad, mégis közel áll a gyakorlathoz, a gyakorlati tapasztalatokra épül.

A tételek elkülönítésére az MSZ 4720 szabvány előírásain túlmenő szabályokat is célszerű megfogalmazni, hogy a paraméteres és a nem paraméteres módszer alkalmazásakor egyformán lehessen a betonokat minősíteni. Ha megvizsgáljuk, hogy a különböző átlagszilárdságú és szórású halmazok esetében melyek azok a szélső szilárdsági értékek, amelyek mind a paraméteres, mind a nem paraméteres módszer alkalmazásakor egyforma és a teherbírást ténylegesen tükröző értékelést tesznek lehetővé, akkor a következő megállapításokat tehetjük.

Ha a halmaz átlagszilárdsága R_m N/mm^2, a minta elemei akkor tekinthetők egy tételbe tartozóknak, ha a halmaz elemeinek a minimális szilárdsága legalább:

$$R_{min} = 0{,}75 \times R_m \tag{78}$$

és a halmaz elemeinek a maximális szilárdsága legfeljebb:

$$R_{max} = R_m \times \{1 + (0{,}5 / lgR_m)\} \tag{79}$$

Ha a halmaz a fenti feltételeket nem elégíti ki, akkor nem tekinthető egy tételnek.

A nem paraméteres módszer előnye, hogy kevert tételre is megbízható becslést tesz lehetővé. A módszer kiterjesztésére 14-nélkevesebb elem mellett az MI 4.3.4.2. fejezete ad eljárást. E szerint a beton mindaddig megfelelőnek minősíthető, amíg 1, 2 vagy 3 vizsgálati eredmény közül a legkisebb: $R_{min} = 1{,}33 \times R_{k,nom}$, illetve 14 vizsgálati eredmény közül a legkisebb $R_{min} = R_{k,nom}$. A közbenső elemszámra érvényes feltételek az MI 4.3.4.2. fejezetében megtalálhatók.

FELHASZNALT IRODALOM

Palotás László: Mérnöki szerkezetek anyagtana 2. Fa-kő-fém-kötőanyagok. Akadémiai Kiadó. Budapert, 1979.

Palotás László-Balázs György: Mérnöki szerkezetek anyagtana 3. Beton-habarcs-kerámia-müanyag. Akadémiai Kiadó. Budapest, 1980.

Popovics Sándor: Concrete-Making Materials. Hemisphere Publishing Corporation. Washington-London, 1979.

Ujhelyi János: Beton- és habarcstechnológia. Zsebkönyv. Müszaki Könyvkiadó. Budapest, 1973.

Buday Tibor: Betonozás. Müszaki Könyvkiadó. Budapest, 1977.

Neville, A.M.: Properties of Concrete. Pitman Publishing Limited. London, 1981.

Szalai Kálmán és tsai: A beton minőségellenőrzése: Szabványkia-

Guide for Making a Condition Survey of Concrete in Service

(Irányelv a használatban lévő beton állapotának ellenőrzésére)

Reported by ACI Committee 201

1. FEJEZET – BEVEZETÉS

Ez az irányelv rendszert ad a használatban lévő beton állapotának az ellenőrzésére. Az állapot ellenőrzése a beton vizsgálata a meghibásodás területének azonosítása és pontosítása céljából. A rendszert arra tervezték, hogy felhasználják a műtárgy történek a felmérésére a kezdéstől a kivitelezésen át a szerkezet ezt követő életéig.

Noha valószínűleg ezt a rendszert leggyakrabban olyan beton ellenőrzésével kapcsolatban alkalmazzák, amely a kimerültség jeleit mutatja, felhasználását valamennyi betonszerkezethez javasolják. Bármely esetben meg kell őrizni az anyagok és a kivitelezési gyakorlat jegyzőkönyveit, mivel későbbi időben ezekhez nehéz hozzájutni.

A bizottság megkísérelte felsorolni a vonatkozó pontokat, amelyek támpontot adhatnak a beton teljesítőképességéről. A vizsgálatnak azonban nem szabad korlátozódnia a felsorolt pontokra, emellett lehetséges más hatással bíró tényezőket is figyelembe venni. Követve az irányelvet, nem mellőzhető az intelligens megfigyelés igénye és az egészséges ítélet használata.

A felülvizsgálat ilyen végrehajtásához gyakorlatra és ezen a területen hozzáértésre van szükség. A szöveges leíráson kívül, ahol csak lehetséges, laboratóriumi és helyszíni vizsgálatokból nyert számszerű adatok szükségesek. A méretek jelzését is magába foglaló fényképek jelentős értékűek a beton állapotának a bemutatásához.

Az ellenőrzési jegyzék megkönnyíti a felülvizsgálatot. A fogalmak meghatározása és az ehhez kapcsolódó fényképek megkísérlik szabványosítani a szerkezetbe épített beton állapotának a közlését.

2. FEJEZET – ELLENŐRZÉSI JEGYZÉK

Az állapotot felmérő személynek ki kell választania azokat a szempontokat, amelyek fontosak a felmérés speciális céljainak a tekintetében. Más tényezők is befoglalhatók és nem szabad ezeket figyelmen kívül hagyni a felülvizsgálat során.

Ellenőrzési jegyzék

1. A szerkezet vagy a burkolat leírása
   - 1.1. Megnevezés, hely, fajta és méret
   - 1.2. Tulajdonos, beruházó mérnök, kivitelező, amikor építik
   - 1.3. Terv
     - 1.3.1. Építész és/vagy mérnök
     - 1.3.2. Tervezett felhasználás és a használat története
     - 1.3.3. Speciális jellemzők
   - 1.4. Építés
     - 1.4.1. Kivitelező – általános
     - 1.4.2. Alvállalkozó – beton bedolgozó
     - 1.4.3. Betonszállító
     - 1.4.4. A vizsgálatért felelős szervezet
     - 1.4.5. Más alvállalkozók
   - 1.5. Fényképek
     - 1.5.1. Általános áttekintés
     - 1.5.2. A terület állapotához kapcsolódó részletek

1.6. Térképvázlat – a napos és az árnyékos részeket, valamint a jól és rosszul csatornázott területeket bemutató elhelyezkedés

2. A szerkezet jelenlegi állapota

2.1. A szerkezet általános ismertetése

2.1.1. Ülepedés

2.1.2. Lehajlás

2.1.3. Duzzadás

2.1.4. Zsugorodás

2.2. Nyomásnak és húzásnak kitett, meghibásodott részek aránya (gerendák, oszlopok, burkolat, falak stb.)

2.3. A beton felületi állapota

2.3.1. Általában (jó, kielégítő, gyenge, poros, meszes, hólyagos)

2.3.2. Repedések

2.3.2.1. Elhelyezkedés és gyakoriság

2.3.2.2. Fajta és méret (lásd: meghatározások)

2.3.2.3. Kimosódott, cseppköves

2.3.3. Hámlás

2.3.3.1. Terület, mélység

2.3.3.2. Fajta (lásd: meghatározások)

2.3.4. Lemezes leválás és kihámozódás

2.3.4.1. Gyakoriság, méret és mélység

2.3.4.2. Fajta (lásd: meghatározások)

2.3.5. A korrózió vagy a vegyi károkozás, kopás, dinamikus hatás, üregesedés kiterjedése

2.3.6. Foltosodások, kivirágzás

2.3.7. Be nem ágyazott acélbetét

2.3.8. Görbület és vetemedés

2.3.9. Korábbi foltozás vagy egyéb javítás

2.3.10. Felület bevonatok

2.3.10.1. Fajta és vastagság

2.3.10.2. Tapadás a betonhoz

2.3.10.3. Állapot

2.3.11. Kopás

2.3.12. Behatoló tömítők

2.3.12.1. Fajta

2.3.12.2. Hatékonyság

2.3.12.3. Elszíneződés

2.4. A beton belső állapota (a helyszínen és a mintákban)

2.4.1. A magok szilárdsága

2.4.2. A magok tömörsége

2.4.3. Nedvességtartalom

2.4.4. Alkáli-adalékanyag vagy más reakció nyoma

2.4.5. Tapadás az adalékanyaghoz, acélbetétekhez, kapcsolatokban

2.4.6. Impulzus-sebesség

2.4.7. Térfogatváltozás

2.4.8. Légtartalom és eloszlás

2.4.9. Klorid-ion tartalom

2.4.10. Acélbetétek takarása

2.4.11. Elektród-feszültség az acélbetétben

2.4.12. Az acélbetét-korrózió megjelenése

2.4.13. Az eltérő fémek miatti korrózió megjelenése
2.4.14. Réteges elválás
2.4.15. Karbonátosodási mélység
2.4.16. Fagyás-olvadás miatti gyengülés (fagykár)
2.4.17. A tönkremenetel kiterjedése
2.4.18. Adalékanyag arányosság és eloszlás

3. A terhelő és károsító elemek természete
 3.1. Kitétel
  3.1.1. Környezet – savasság, szubtropikus, tengervidék, ásványvíz, ipari szennyezés stb.
  3.1.2. Időjárás – júliusi és januári középhőmérséklet, évi átlagos csapadék és azok a hónapok, amikor a csapadék 60 %-a lehullik
  3.1.3. Fagyás és olvadás
  3.1.4. Nedvesedés és száradás
  3.1.5. Száradás száraz atmoszferikus környezetben
  3.1.6. Kémiai korrózió – szulfát, sav, klorid
  3.1.7. Koptatás, erózió, üregesedés, ütések
  3.1.8. Elektromos áram
  3.1.9. Jégtelenítő sózás kloridtartalommal
  3.1.10. Meleg érintkező forrásokból
 3.2. Leszivárgás
  3.2.1. Szegélylemez
  3.2.2. Elvezető nyílások
  3.2.3. Körvonal
  3.2.4. Vízelvezetők hajlása
 3.3. Terhelés
  3.3.1. Holtteher
  3.3.2. Élőteher
  3.3.3. Ütőteher
  3.3.4. Rezgés
  3.3.5. Közlekedési mutatószám
  3.3.6. Egyéb
 3.4. Talajok (alapozás állapota)
  3.4.1. Összenyomhatóság
  3.4.2. Duzzadó talaj
  3.4.3. Ülepedés
  3.4.4. Talajellenállás
  3.4.5. Szivattyúzás ténye
  3.4.6. Víztábla (szint és változás)

4. A szerkezet eredeti állapota
 4.1. A kiképzett és befejezett felületek állapota
  4.1.1. Simaság
  4.1.2. Légzárványok (hiba okozta üregek)
  4.1.3. Homokos csíkok
  4.1.4. Kavicsfészkek
  4.1.5. Puha területek (késleltetett hidratáció)
  4.1.6. Hideg kapcsolatok
  4.1.7. Foltosodás
 4.2. Hibák
  4.2.1. Repedezés
   4.2.1.1. Plasztikus zsugorodás

4.2.1.2. Hő okozta zsugorodás
4.2.1.3. Száradási zsugorodás
4.2.2. Görbület
5. Szerkezeti anyagok
5.1. Hidraulikus cement
5.1.1. Osztály vagy osztályok (portlandcement, heterogén cement, aluminát cement, kohósalak cement)
5.1.2. Fajta vagy fajták, származási hely
5.1.3. Vegyi összetétel (hivatalos elemzési adatok, ha rendelkezésre állnak)
5.1.4. Fizikai tulajdonságok
5.2. Adalékanyagok
5.2.1. Durva adalékanyag
5.2.1.1. Fajta, származási hely és ásványi összetétel (elérhető reprezentatív minta)
5.2.1.2. Minőségi jellemzők
5.2.1.2.1. Káros alkotórész százaléka
5.2.1.2.2. Lehetségesen reaktív anyagok százaléka
5.2.1.2.3. Bevonatok, szövetszerkezet és szemalak
5.2.1.2.4. Szemeloszlás, térfogatállóság, keménység
5.2.1.2.5. Más tulajdonságok (ASTM C 33 szerint, könnyű adalékanyagokra C 330)
5.2.1.2.6. Felhasználási jegyzőkönyvek más építkezéseken
5.2.2. Finom adalékanyag
5.2.2.1. Fajta, származási hely és ásványi összetétel (elérhető reprezentatív minta)
5.2.2.2. Minőségi jellemzők
5.2.2.2.1. Káros alkotórész százaléka
5.2.2.2.2. Lehetségesen reaktív anyagok százaléka
5.2.2.2.3. Bevonatok, szövetszerkezet és szemalak
5.2.2.2.4. Szemeloszlás, térfogatállóság, keménység
5.2.2.2.5. Más tulajdonságok (ASTM C 33 szerint, könnyű adalékanyagokra C 330)
5.2.2.2.6. Felhasználási jegyzőkönyvek más építkezéseken
5.3. Keverővíz
5.3.1. Származási hely és minőség
5.4. Adalékszerek
5.4.1. Légbuborékképző adalékszerek
5.4.1.1. Fajta és származási hely
5.4.1.2. Összetétel
5.4.1.3. Adagolás
5.4.1.4. Az adagolás módja
5.4.2. Ásványi adalékszerek
5.4.2.1. Osztály és származási hely
5.4.2.2. Fizikai tulajdonságok
5.4.2.3. Kémiai tulajdonságok
5.4.3. Vegyi adalékszerek
5.4.3.1. Fajta és származási hely
5.4.3.2. Összetétel
5.4.3.3. Adagolás
5.4.3.4. Az adagolás módja és időpontja
5.5. Beton
5.5.1. Keverék összetétel
5.5.1.1. Cementtartalom
5.5.1.2. Valamennyi adalékanyag-méret aránya

            - 5.5.1.3. Víz/cement tényező (víz/cementes anyag tényező)
            - 5.5.1.4. Víztartalom
            - 5.5.1.5. Vegyi adalékszer(ek)
            - 5.5.1.6. Ásványi adalékszer(ek)
            - 5.5.1.7. Légbuborékképző adalékszer
        - 5.5.2. A friss beton tulajdonságai
            - 5.5.2.1. Roskadás vagy más konzisztencia-mérőszám
            - 5.5.2.2. Vérzés
            - 5.5.2.3. Légtartalom
            - 5.5.2.4. Testsűrűség
            - 5.5.2.5. Hőmérséklet
        - 5.5.3. Fajta
            - 5.5.3.1. Helyszínen bedolgozott
            - 5.2.3.2. Előregyártott
            - 5.2.3.3. Feszített (elő- vagy utófeszített)
        - 5.5.4. Acélbetétek
            - 5.5.4.1. Fajta (rúd, háló vagy szálak)
            - 5.5.4.2. Folyási szilárdság
            - 5.5.4.3. Vastagság és a takarás vastagsága
            - 5.5.4.4. Helyszínen vagy üzemben készítették
            - 5.5.4.5.Hegesztés alkalmazása
            - 5.5.4.6. Bevonat jelenléte
                - 5.5.4.6.1. Fajta
                - 5.5.4.6.2. Állapot
        - 5.5.5. A szilárd beton kezdeti fizikai tulajdonságai
            - 5.5.5.1. Szilárdság – nyomó, hajlító
            - 5.5.5.2. Rugalmassági modulus
            - 5.5.5.3. A mikrostruktúra tömörsége és homogenitása
            - 5.5.5.4. Levegő százaléka és eloszlása
            - 5.5.5.5. Térfogatváltozás lehetősége
                - 5.5.5.5.1. Zsugorodás vagy keresztmetszet csökkenés
                - 5.5.5.5.2. Duzzadás vagy térfogatnövekedés
                - 5.5.5.5.3. Kúszás
            - 5.5.5.6. Hőfizikai tulajdonságok
        - 5.5.6. Munkahelyi vizsgálatok
            - 5.5.6.1. A vizsgálatok leírása és gyakorisága
            - 5.5.6.2. A tényleges eredmények a teljes építményre
            - 5.5.6.3. Az ellenőrzött beton tényleges eredményei
            - 5.5.6.4. A vizsgálati eredmények kiértékelése az ACI 214 szerint
- 6. Kivitelezési gyakorlat
    - 6.1. Az anyagok tárolása és feldolgozása
        - 6.1.1. Adalékanyagok
            - 6.1.1.1. Szemeloszlás
            - 6.1.1.2. Mosás
            - 6.1.1.3. Tárolás
                - 6.1.1.3.1. Készletezés
                - 6.1.1.3.2. Bunker
                - 6.1.1.3.3. Újranedvesítés előtti nedvességellenőrzés
                - 6.1.1.3.4. Hűtés
                - 6.1.1.3.5. Melegítés

6.1.2. Cement és adalékszerek
6.1.2.1. Tárolás
6.1.2.2. Kezelés
6.1.3. Acélbetétek és alátétek
6.1.3.1. Tárolás
6.1.3.2. Elhelyezés
6.2. Zsaluzatok
6.2.1. Fajta
6.2.2. Kapcsolatok
6.2.3. Bevonat-fajta és alkalmazásának időpontja
6.2.4. Szigetelés
6.3. Betonozás
6.3.1. Adagoló üzem
6.3.1.1. Fajta – automatikus, kézi stb.
6.3.1.2. A berendezések állapota
6.3.1.3. Adagolási sorrend
6.3.1.4. Számítógépes nyomtatás elérhetősége
6.3.2. Keverés
6.3.2.1. Fajta – központi keverő, mixerkocsi, munkahelyi keverés, száraz keverék
6.3.2.2. A berendezések állapota
6.3.2.3. Keverési idő
6.3.3. Szállítás – keverőkocsi, tartály, csúszda, szivattyú stb.
6.3.4. Elhelyezés
6.3.4.1. Módszerek – hagyományos, víz alatti, csúszózsaluzat stb.
6.3.4.2. Berendezés – tartály, ormánycső, vibrátoros stb.
6.3.4.3. Időjárás – évszak, eső, hó, száraz szél, hőmérséklet, nedvesség stb.
6.3.4.4. Munkahelyi feltételek – tömedékelés, töltés, víz jelenléte stb.
6.3.4.5. Szerkezeti kapcsolatok
6.3.4.6. Összehúzó és szigetelő kapcsolatok
6.3.5. Befejezés
6.3.5.1. Fajta – lemez, padozat, burkolat, tartozékok
6.3.5.2. Módszer – kézi és gépi
6.3.5.3. Berendezés – lehúzódeszka, simítólap, kőműveskanál, vonalzó, heveder stb.
6.3.5.4. Szilárdítók, víz, homoktakarás, színezés stb.
6.3.6. Utókezelés
6.3.6.1. Fajta (vizes, takarás, utókezelő-bevonat, zsaluzat)
6.3.6.2. Alkalmazás
6.3.6.3. Tartam
6.3.6.4. Hatékonyság
6.3.7. Kizsaluzás (a kizsaluzás időpontja)
6.3.7.1. Függőleges
6.3.7.2. Megtámasztás

3. FEJEZET – MEGHATÁROZÁSOK ÉS CSATOLT FÉNYKÉPEK

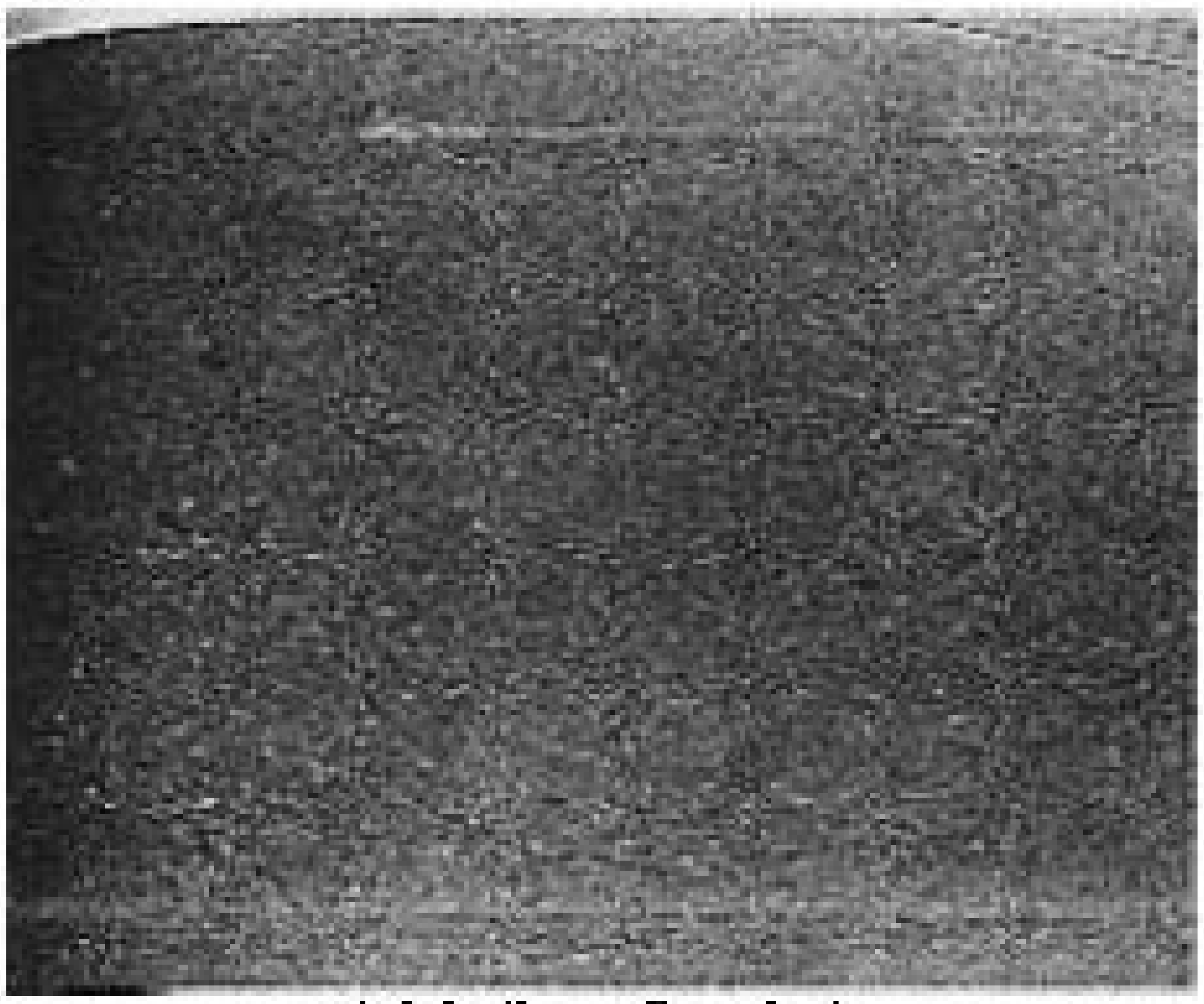
A meghibásodások megjelenését rendszerezték, és fényképekkel ábrázolják. Előfordulásaik mértékét és kiterjedését mennyiségileg is meg kell határozni, ha lehetséges. Céljuk, hogy megpróbálják szabványosítani a szerkezetben lévő beton állapotának a leírását. A felülvizsgálat ilyen végrehajtása legyen otthonos a tönkremenetelek különböző fajtáiban és sorolja rendszerbe a felülvizsgálat megkezdése előtt.

A.1. *Repedés (crack)* – a beton vagy a falazat teljes vagy részleges szétválása két vagy több részre, amit szakadás vagy törés okoz.

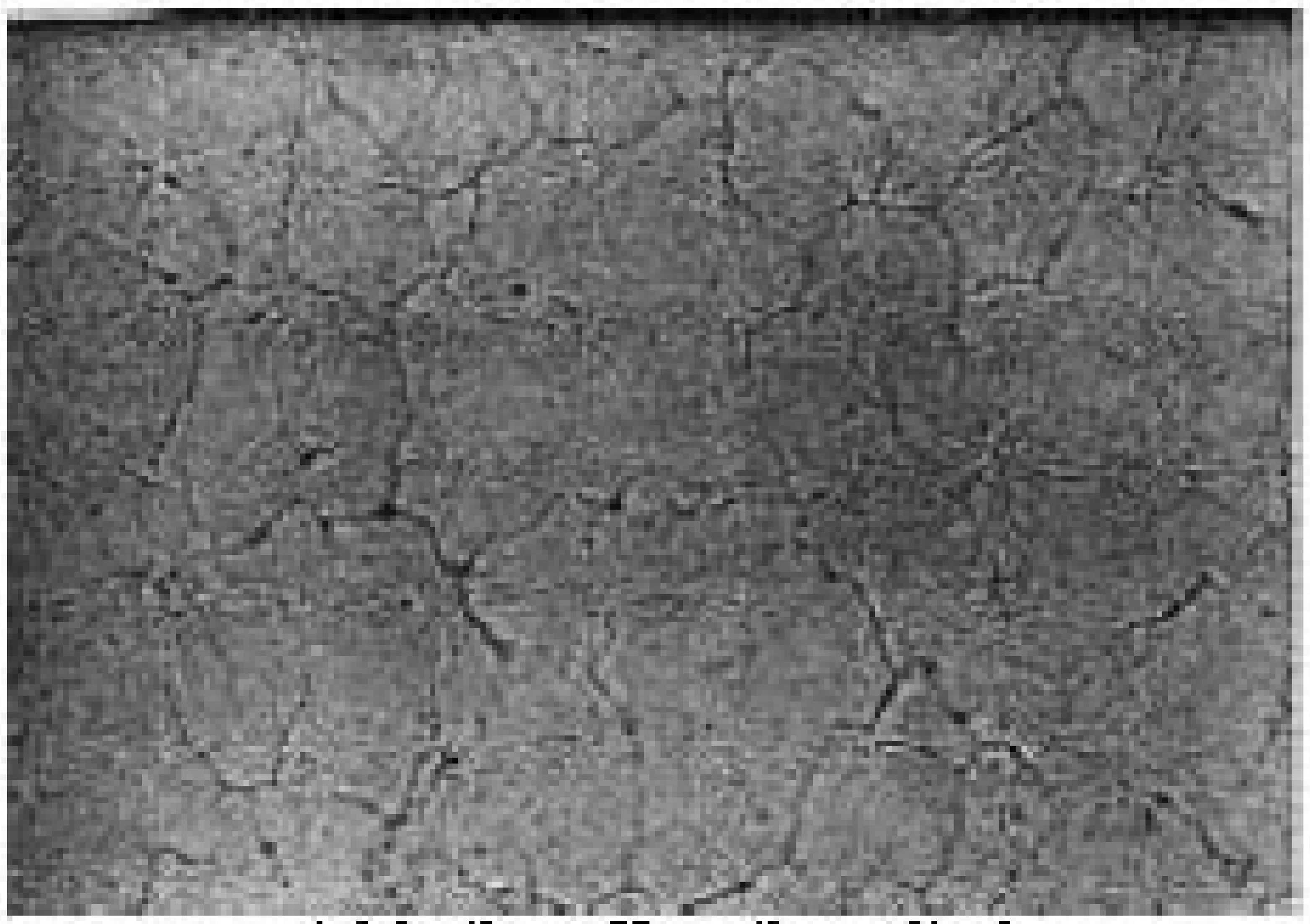
A.1.1. *Repedezés (checking)* – vékony repedések kifejlődése egymáshoz közel, de szabálytalan távolságokra a vakolat, cementpép, habarcs vagy beton felületén.

A.1.2. *Hajszálrepedések (craze cracks)* – finom, véletlenszerű repedések vagy hasadékok a vakolat, a cementpép, a habarcs vagy a beton felületén.

Hajszálrepedezés (crazing) – hajszálrepedések kialakulása; a felületen lévő hajszálrepedések nyoma.



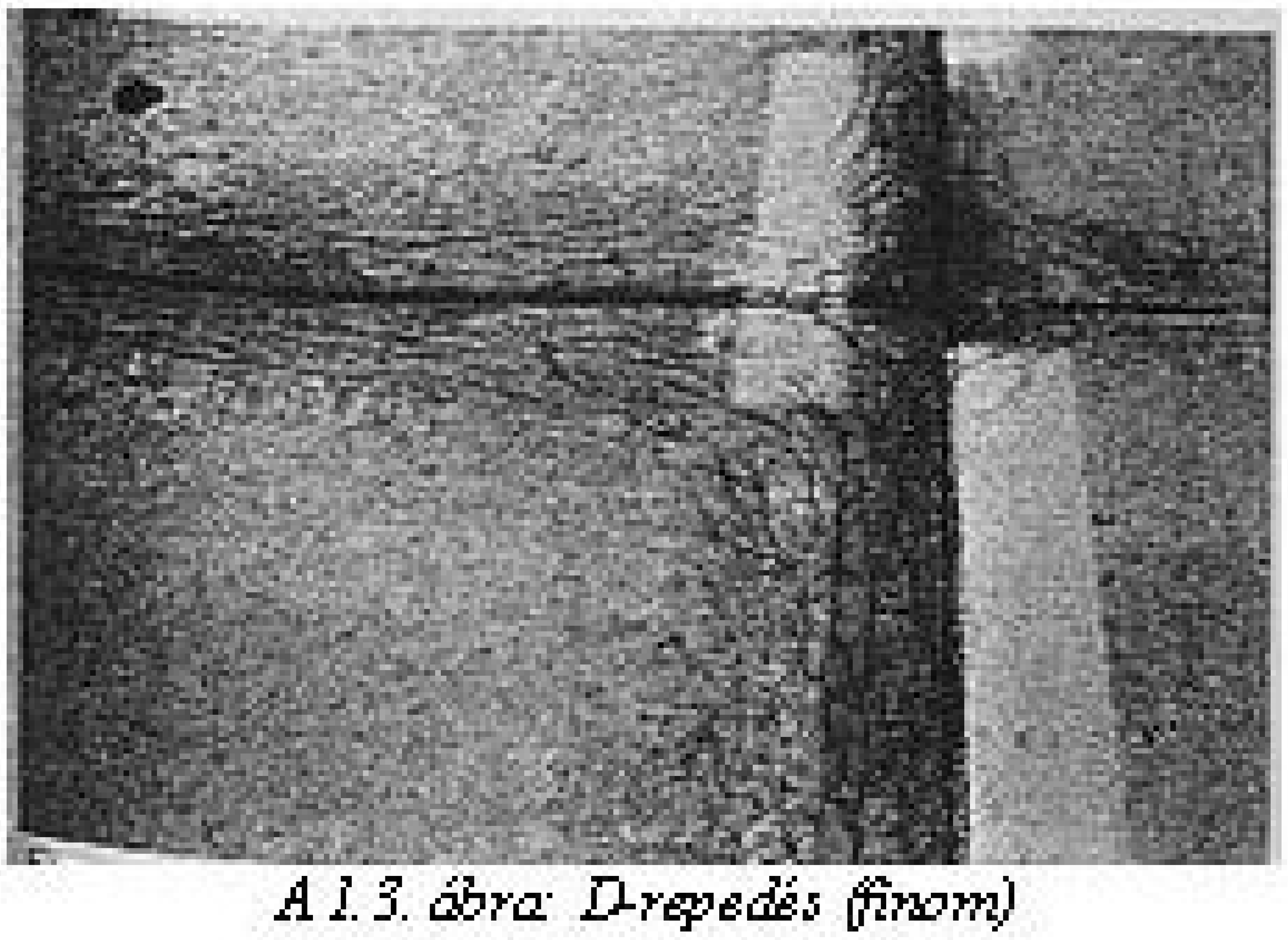
A.1.1. ábra : Repedezés



A.1.2. ábra: Hajszálrepedések

A.1.3. *D-repedés (D-cracking)* – repedéssorozat a betonban közel a kapcsolatokhoz, élekhez és nagyjából azokkal párhuzamosan, valamint a szerkezeti repedések.

A.1.4. *Átlós repedés (diagonal crack)* – hajlított tartókban a nyírófeszültség által okozott, rendszerint a tengelytől kb. 45°-ban elhajló repedés, vagy a lemezben sem az oldaliránnyal, sem a hossziránnyal nem párhuzamos repedés.



A.1.3. ábra: D-repedés (finom)

A.1.4. ábra: Átlós repedés

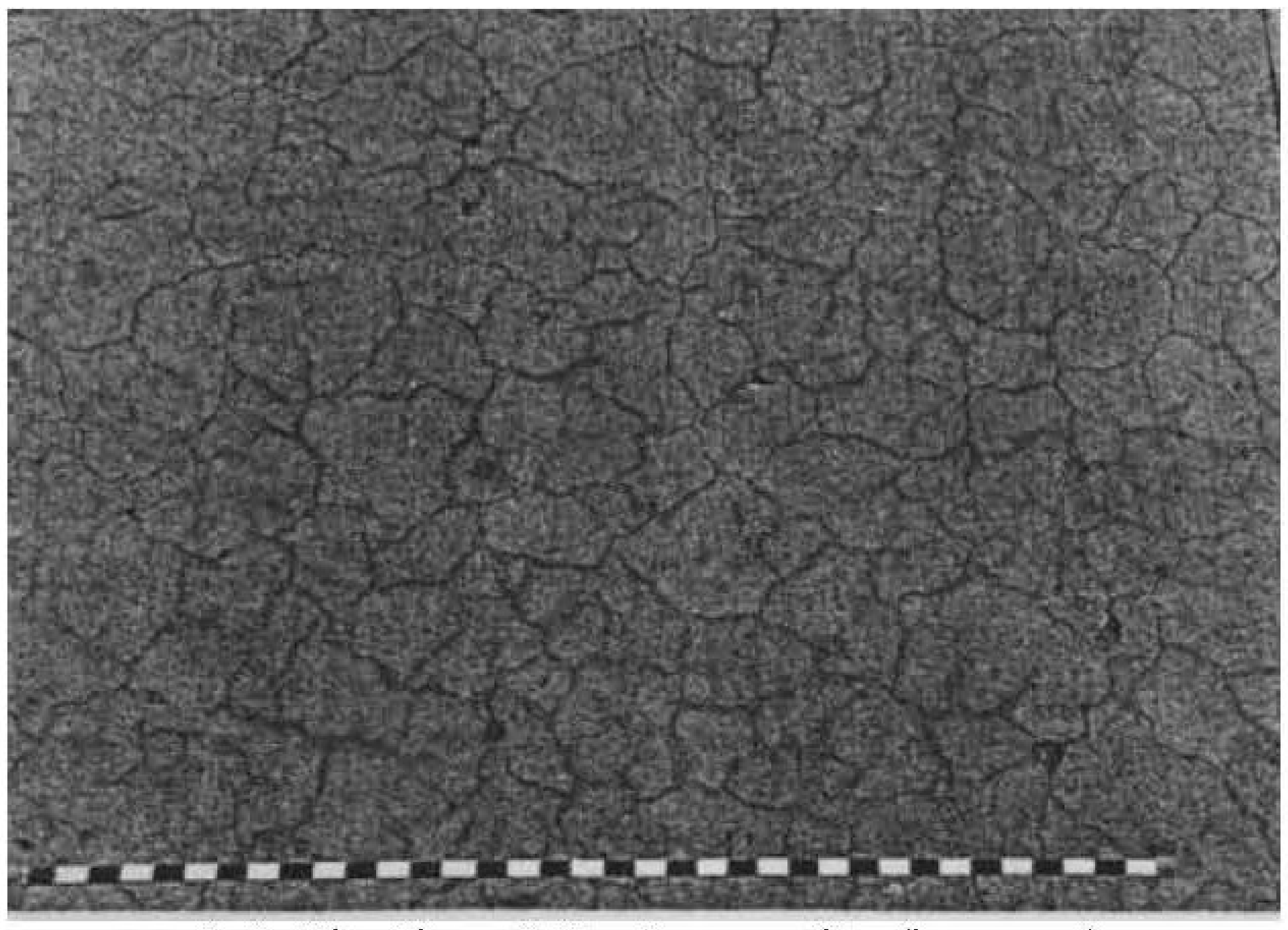
A.1.5. *Hajszálrepedések (hairline cracks)* – külső betonfelület repedezése olyan kis szélességgel, hogy alig vehető észre.

A.1.6. *Mintás repedés (pattern cracking)* – Finom nyílások a beton felületén minta alakjában, amelyet vagy az anyag térfogatcsökkenése okoz a felület közelében, vagy az anyag térfogatnövekedése okoz a felület alatt, vagy mindkettő.

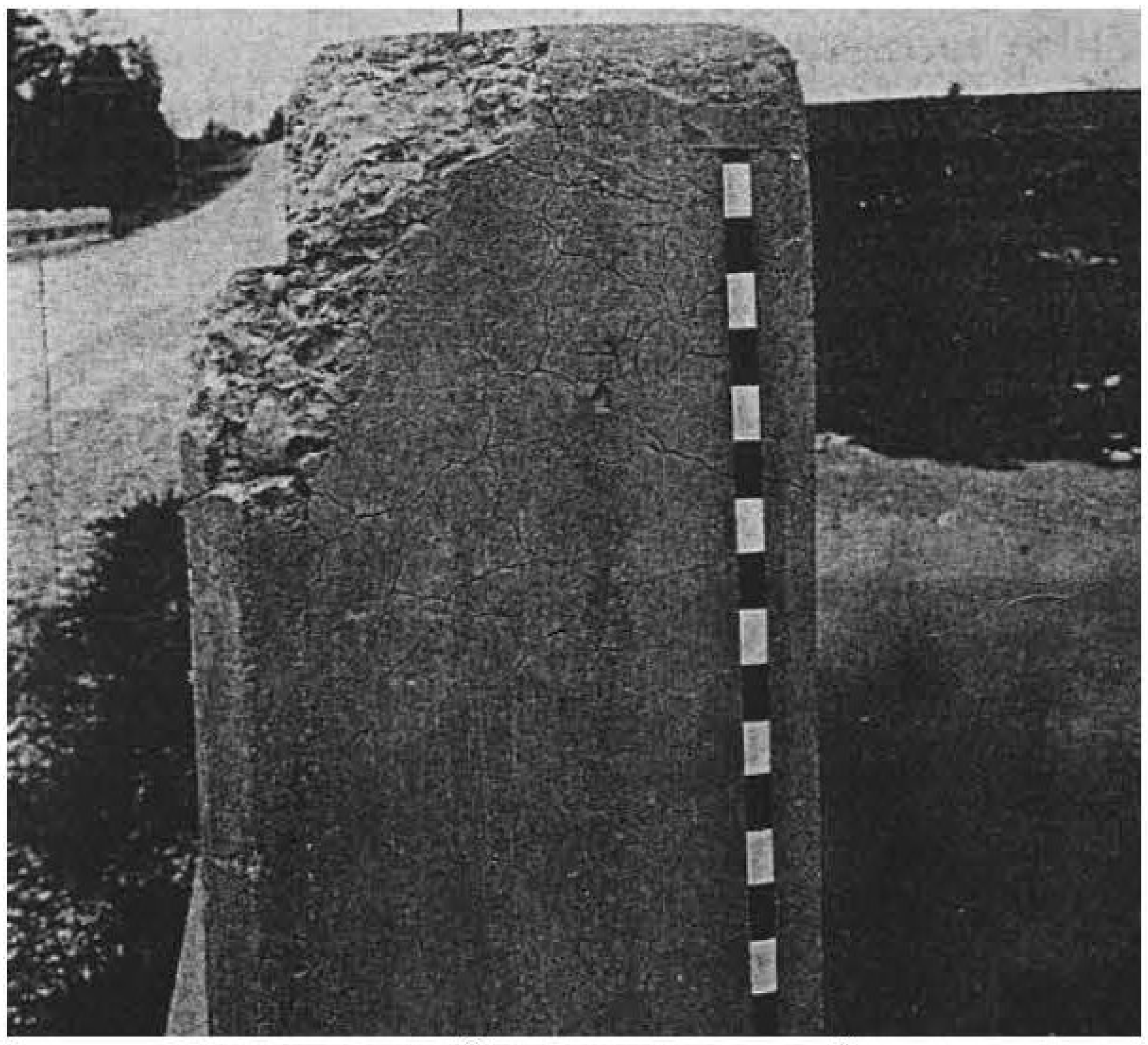
A.1.7. *Képlékeny repedezés (plastic cracking)* – a még képlékeny állapotban lévő friss beton felületén, bedolgozását követően hamarosan kialakuló repedezés.

A.1.8. *Zsugorodási repedés (shrinkage cracking)* – szerkezet vagy elem megrepedése a húzási ellenállás hiánya miatt, amelyet a nedvességtartalom csökkenése által keltett belső vagy külső korlátozás, vagy karbonátosodás okoz, vagy mindkettő.

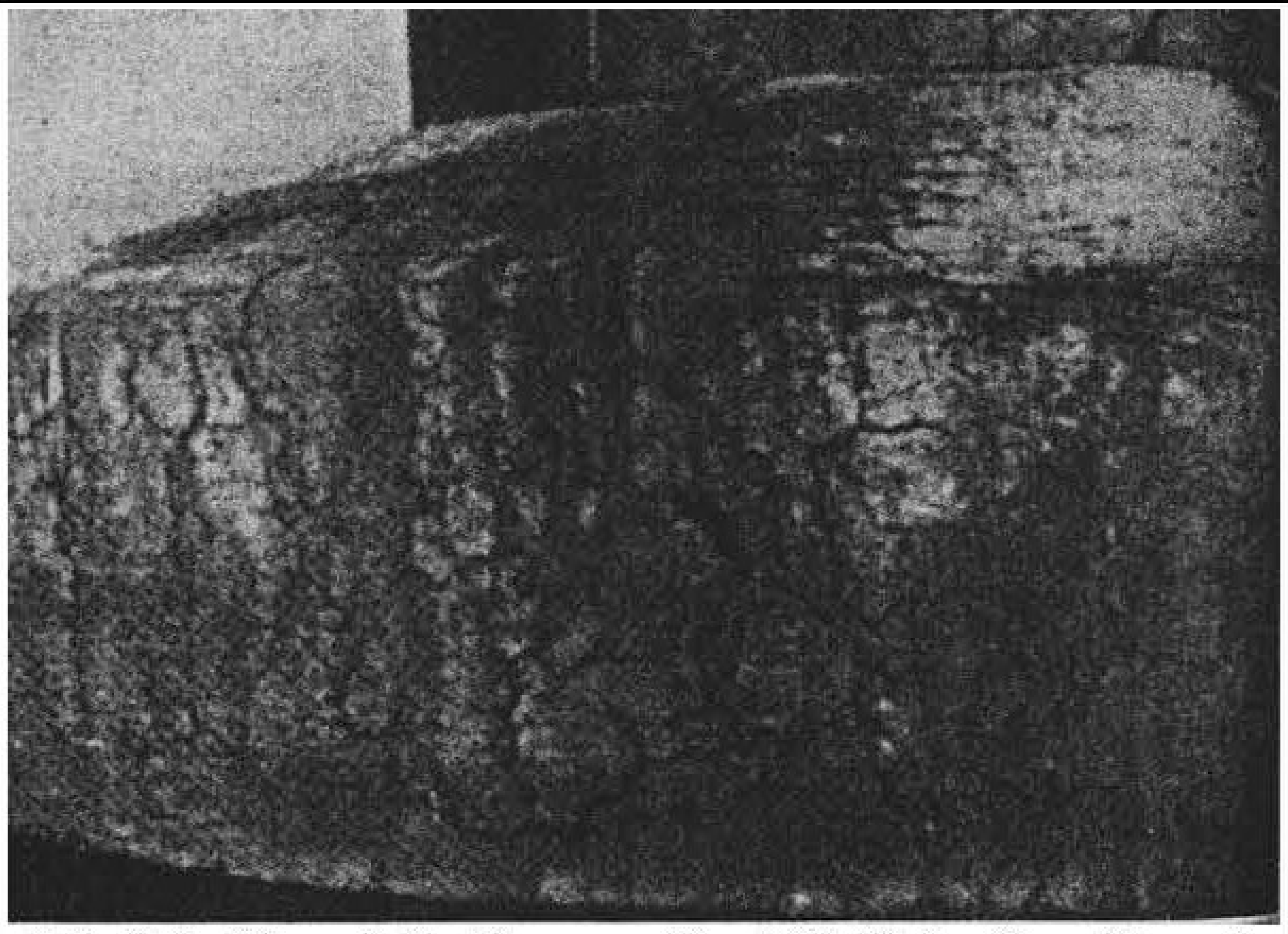
A.1.6.a. ábra: Mintás repedés (finom)



A.1.6.b. ábra: Mintás repedés (közepes)

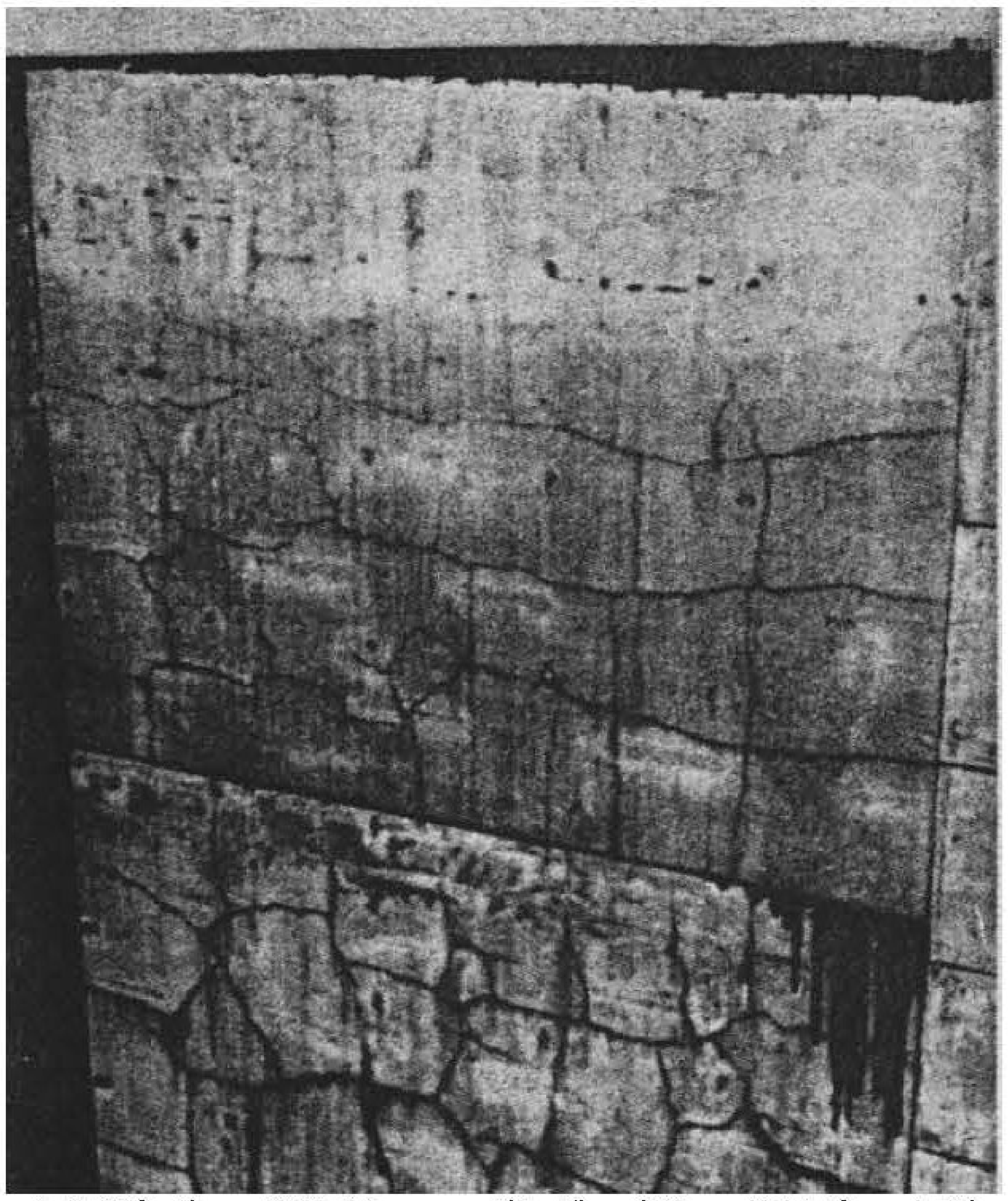


A.1.6.c. ábra: Mintás repedés

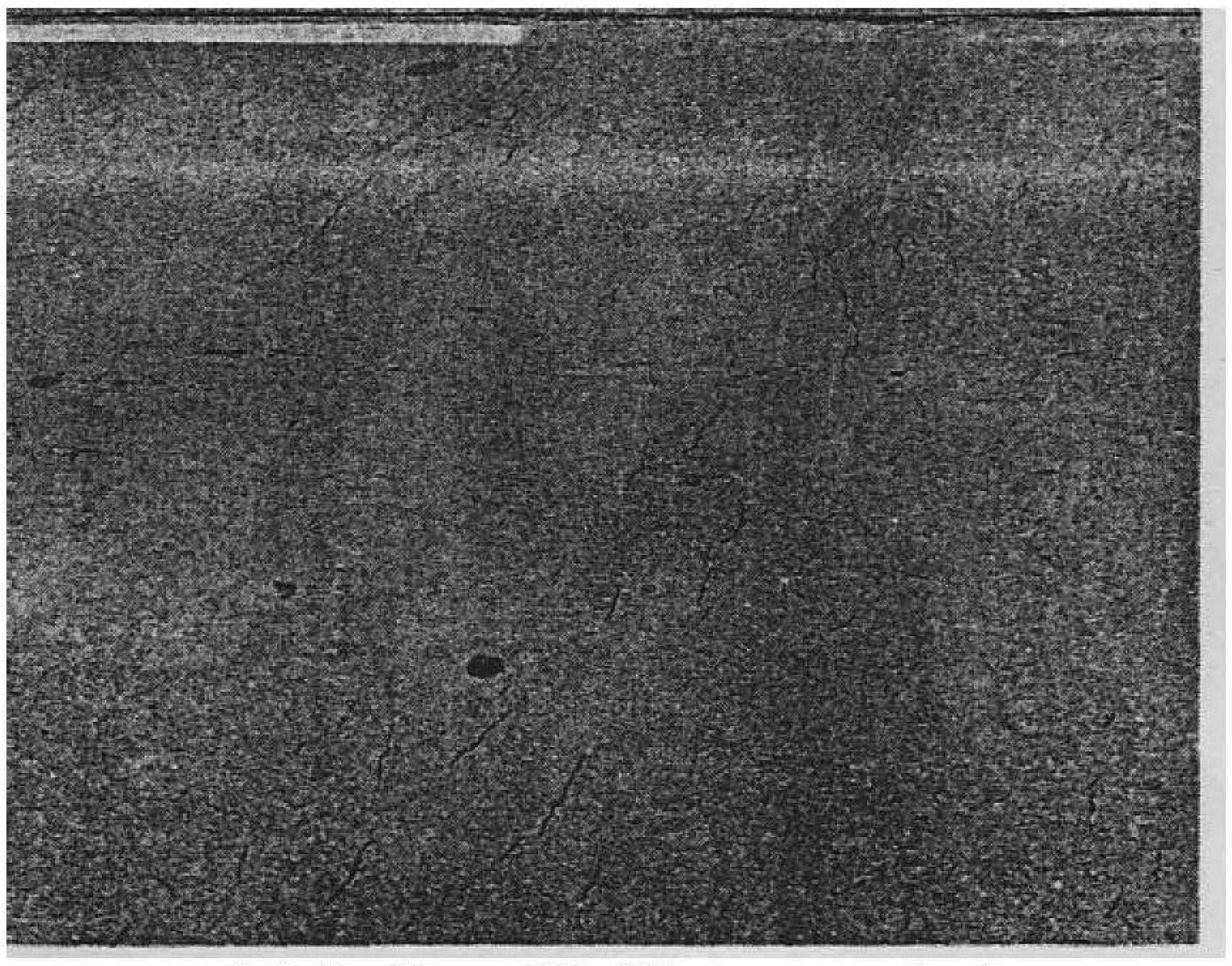


A.1.6.d. ábra: Mintás repedés (alkáli-karbonát reakció)

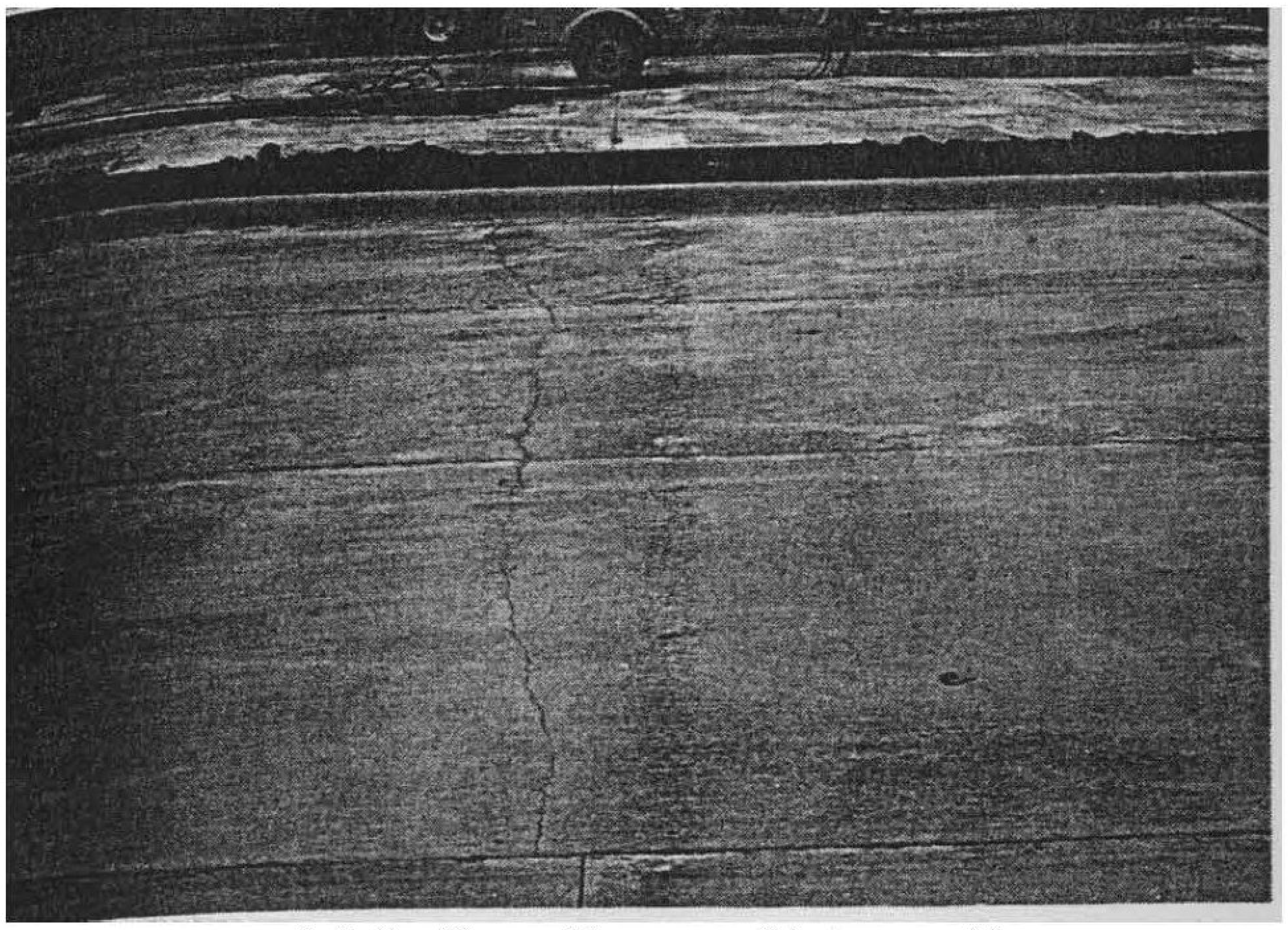
A.1.6.e. ábra: Mintás repedés (alkáli-kovasav reakció)



A.1.6.f. ábra: Mintás repedés (korlátozott térfogatváltozás)



A.1.7. ábra: Képlékeny repedezés



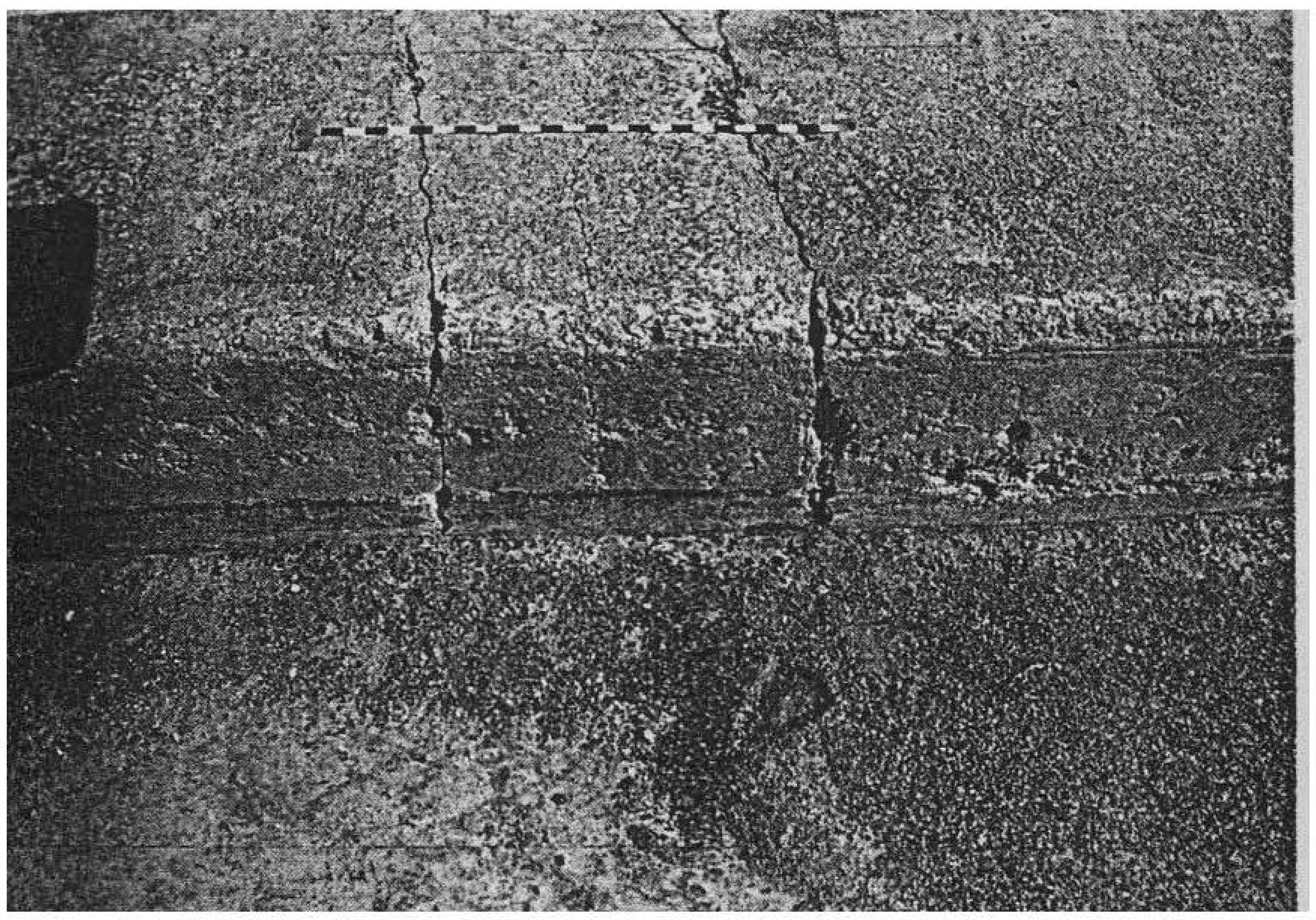
A.1.8. ábra: Zsugorodási repedés

A.1.9. *Hőmérsékleti repedezés (temperature cracking)* – húzási ellenállás hiányossága miatti repedezés, amelyet a külső korlátozásnak kitett elemben a hőmérséklet csökkenése, vagy a belső korlátozásnak kitett elemben a hőmérséklet-különbségek okoznak.

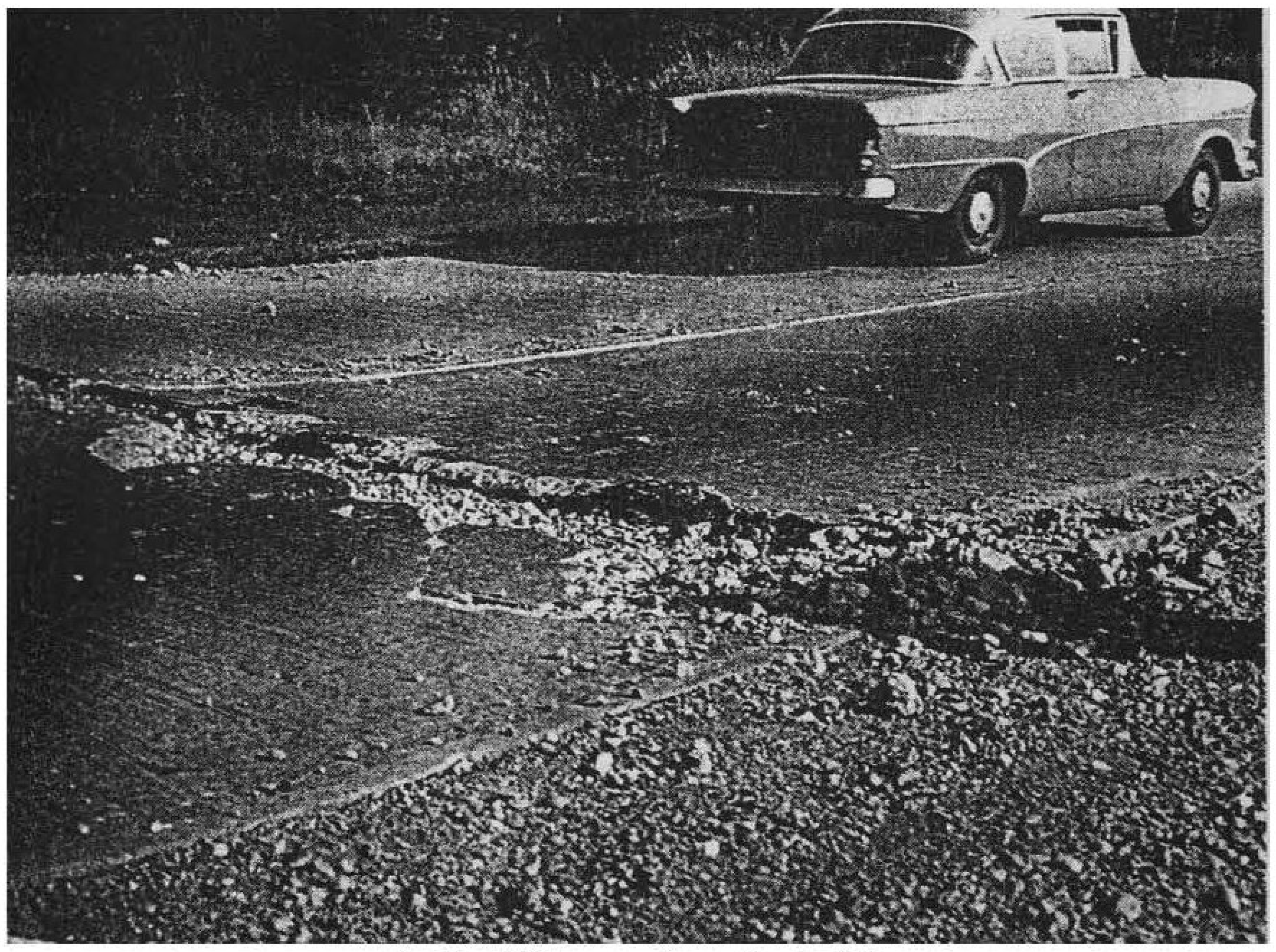
A.1.10. *Derékszögű repedések (transverse cracks)* – az elem hossztengelyére derékszögben kifejlődött repedések.

A.2. *Tönkremenetel (deterioration)* – (1) az anyag törésének fizikai megnyilvánulása (pl. repedezés, réteges leválás, lepattogzás, lehámlás, hasadás, foltosodás), amelyet környezeti vagy autogén belső hatások okoznak a szilárd betonon vagy más anyagokon. (2) az anyag szétesése vagy a vizsgálat folyamán, vagy a használati igénybevétel eredményeképpen.

Aprózódás (disintegration) – kis darabokká, majd szemcséké való átalakulás.



A.1.10. ábra: Derékszögű repedés (széles)

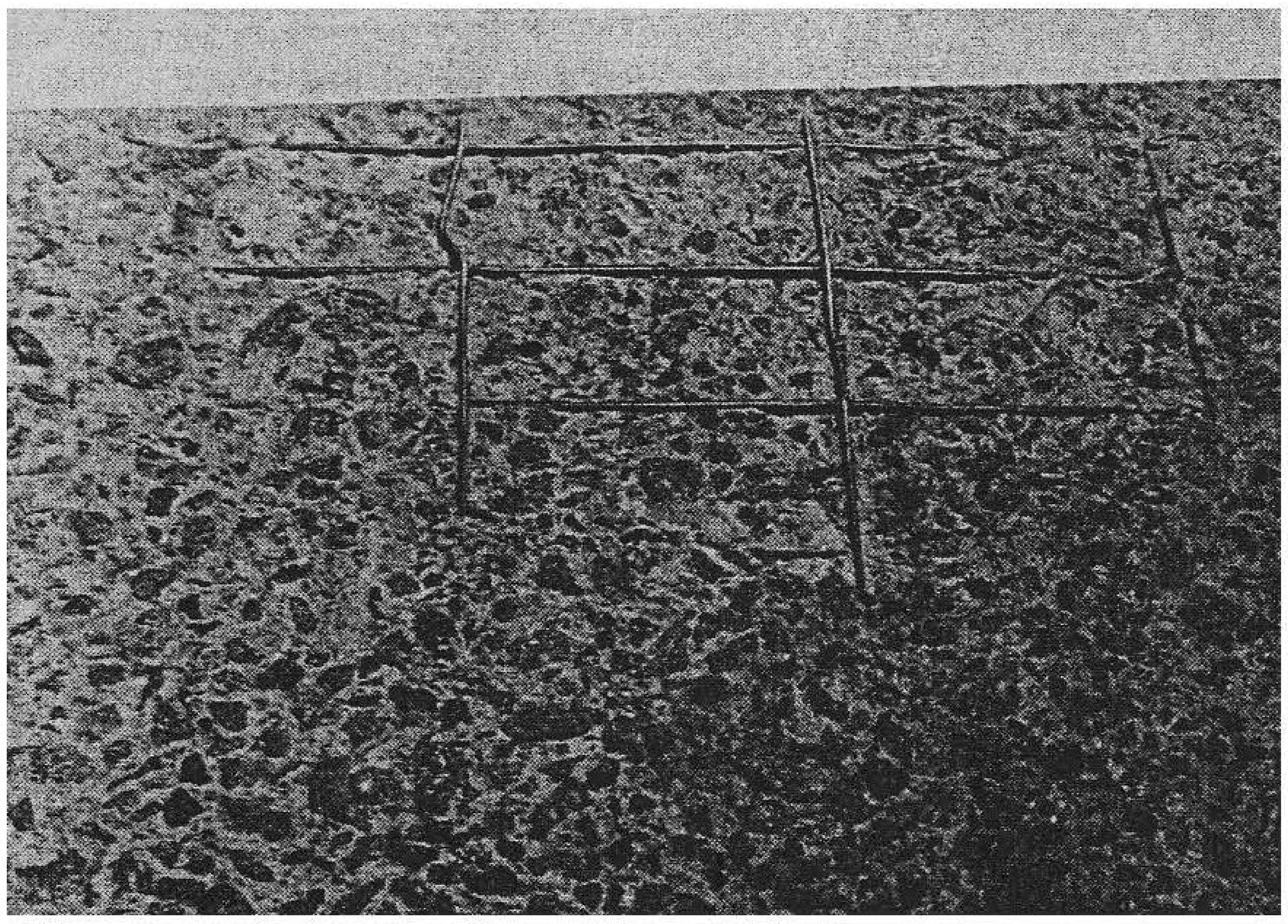


A.2. ábra: Aprózódás

A.2.1. *Kopási károsodás (abrasion damage)* – a felület elhasználódása dörzsölés vagy súrlódás következtében.

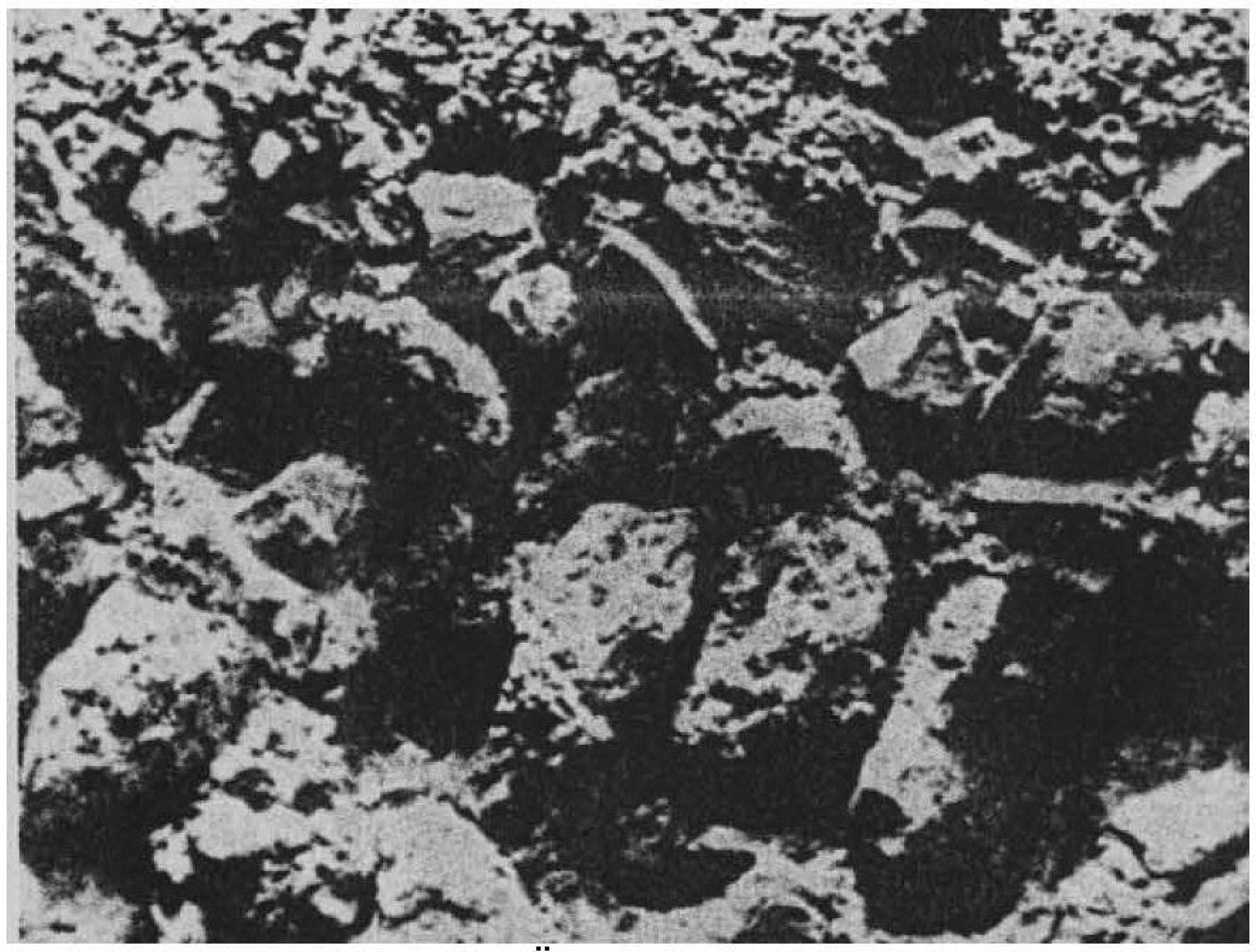
A.2.2. *Hólyagosodás (blistering)* – a bedolgozott habarcs- vagy betonfelületen vékony réteg szabálytalan felemelkedése a befejező műveletek alatt vagy hamarosan azok befejezése után; a hólyagosodás rendszerint a felület korai lezárásának a következménye és hideg időjárásban nagyobb mértékű. Hólyagosodás fordul elő csőgyártás esetén a pörgetést követően, vagy a befejező képlékeny habarcsfedésben, ahogyan elválik az alaptól és felemelkedik.

A.2.3. *Üregesedési károsodás (cavitation damage)* – roppanás okozta himlőhelyek a betonon, azaz a gőzbuborékok összeesése folyó vízben, amely alacsony nyomású területeket alakít ki és összeesik, amikor nagyobb nyomású területekre lép be.

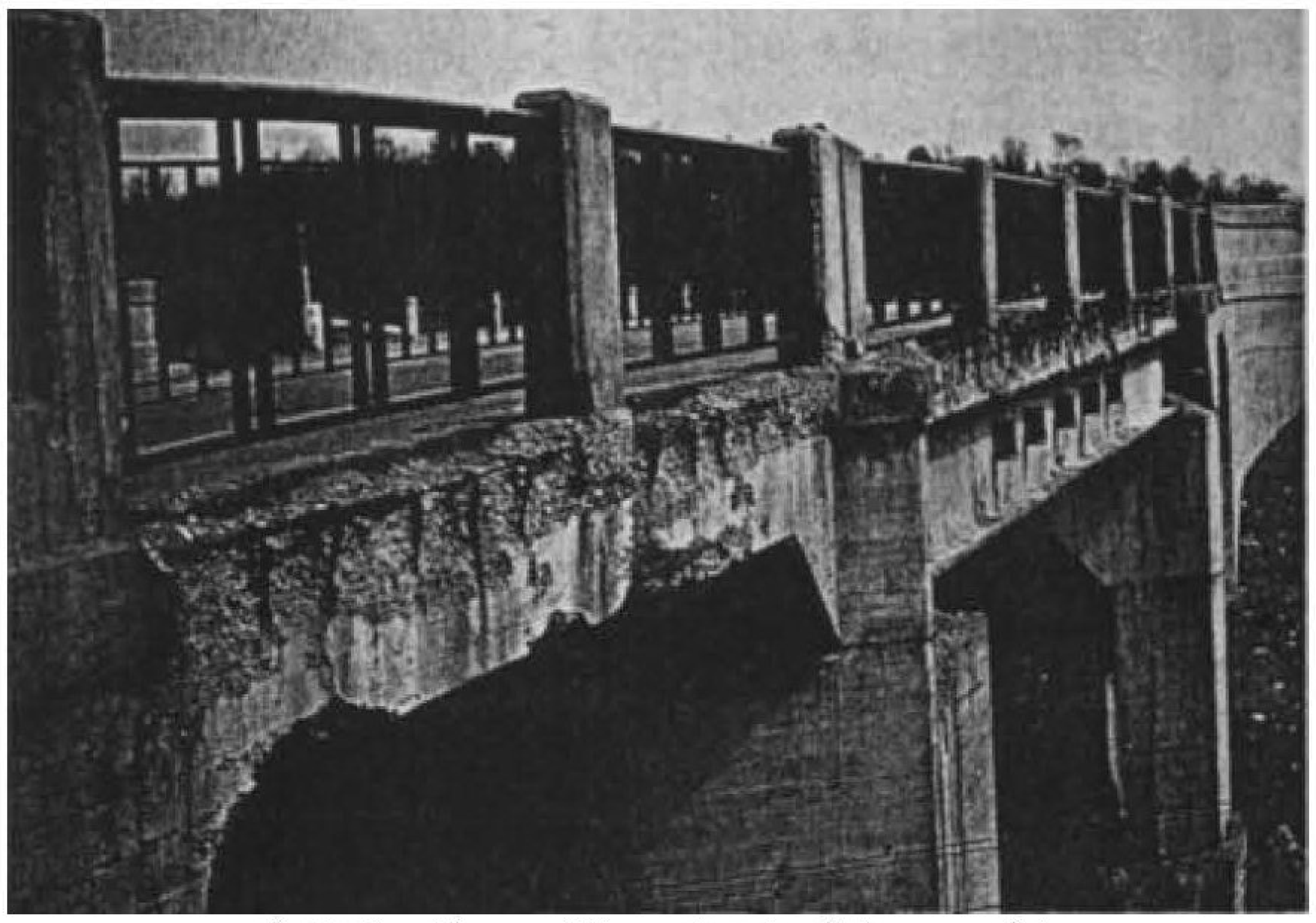


A.2.1. ábra: Kopási károsodás

A.2.2. ábra: Hólyagosodás



A..2.3. ábra: Üregesedési károsodás



A.2.5. ábra: Korróziós károsodás

A.2.4. *Krétaporzás (chalking)* – a betonfelület, vagy az alkalmazott bevonat, pl. cementfestés elporladásából származó laza por képződése.

A.2.5. *Korrózió (corrosion)* – fém tönkremenetele a környezetével való kémiai, elektrokémiai vagy elektrolitikus reakciója következtében.

A.2.6. *Görbület (curling)* – az eredetileg lényegében egyenes vagy sík elem elcsavarodása görbült állapotba, mint amilyen a lemez vetemedése kúszás miatt vagy a hőmérsékletnek, illetve víztartalomnak a szembenlévő oldalakhoz csatlakozó szakaszokban lévő különbségei miatt.

A.2.7. *Lehajlás (deflection)* – szerkezeten vagy szerkezeti elemen lévő pont mozgása, rendszerint vonalmenti elmozdulásként mérve a referencia vonalra vagy tengelyre merőlegesen.

A.2.8. *Alakváltozás (deformation)* – méret vagy alak megváltozása.

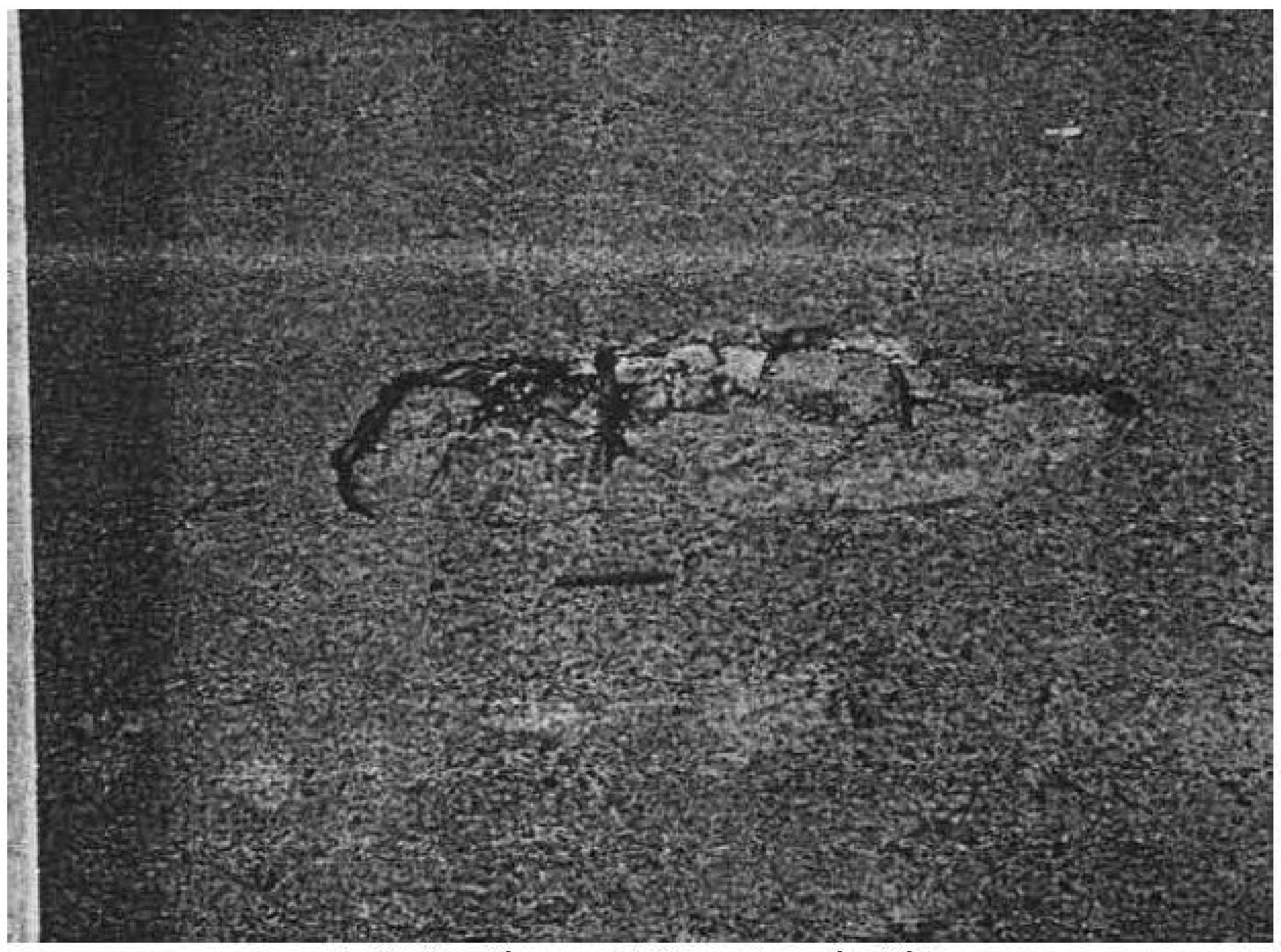
A.2.9. *Réteges elválás (delamination)* – a felülettel párhuzamos sík mentén bekövetkező szétválás, mint a bevonat leválása az aljzatról, vagy a bevonat rétegeinek az elválása egymástól, vagy betonlemez esetén vízszintes hasadozás, repedezés, vagy a lemez elválása durván párhuzamos, általában a felső felülethez közeli síkokban; leggyakrabban hídlemezekben és magas vasbeton lemezek más fajtáiban fordul elő az acélbetétek korróziója miatt; megtalálható lejtőn lévő lemezekben, ahol a befejező művelet alatt fejlődik ki a tömörített felület

alatti gyengébb síkban; vagy a fagyás-olvadás okozza, hasonló a hámláshoz, azt kivéve, hogy a réteges elválás nagy felületeket érint és gyakran csak kopogtatással fedezhető fel.

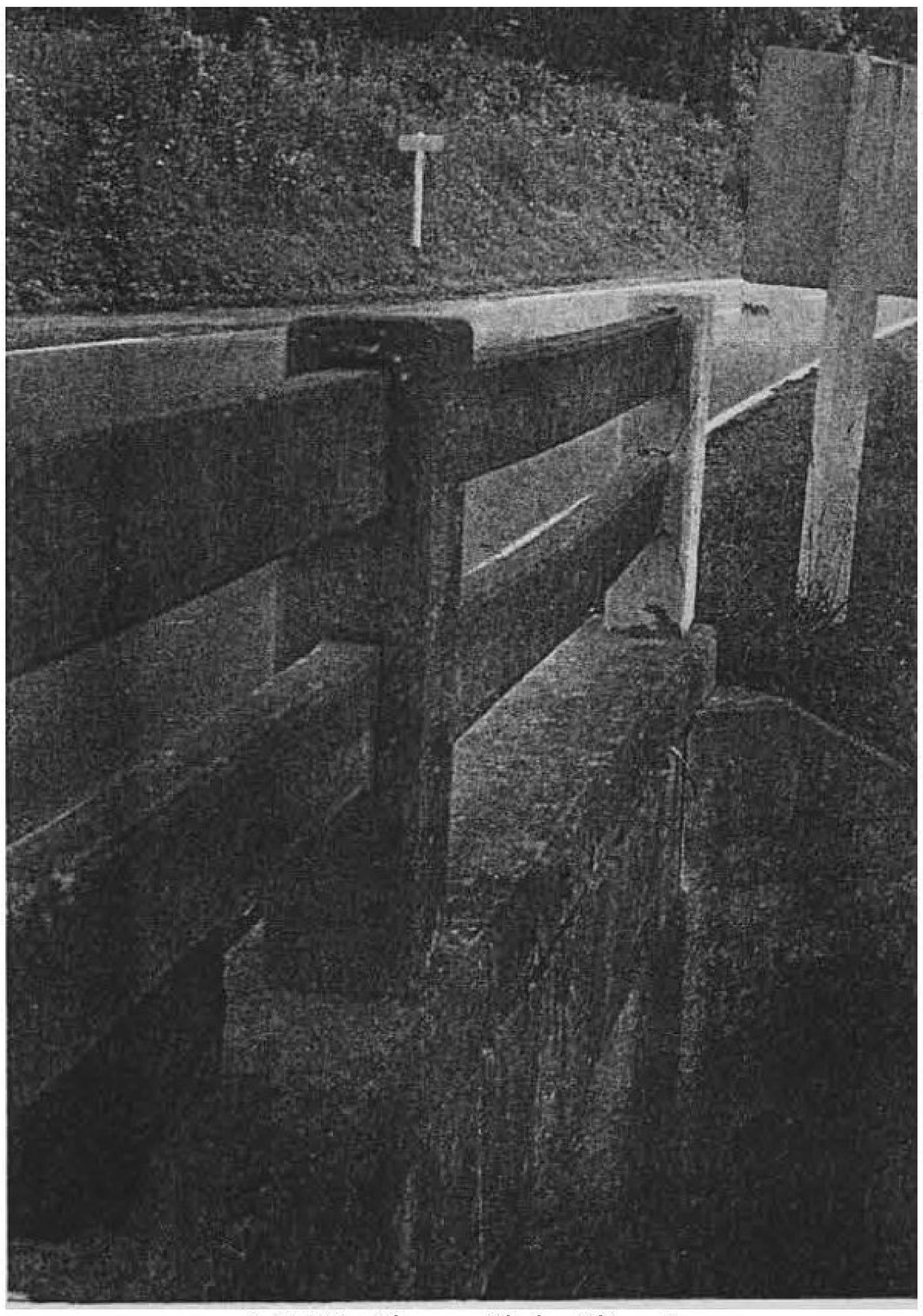
A.2.10. *Alakváltozás (distortion)* – lásd *3.2.8.*

A.2.11. *Porzás (dusting)* – poros anyag keletkezése a szilárd beton felületén.

A.2.12. *Kivirágzás (efflorescence)* – felületen kialakult, rendszerint fehér sólerakódás; az anyag a betonban, vagy a habarcsban keletkezik és ezt követően párolgás útján csapódik ki.



A.2.9. ábra: Réteges elválás



A.2.10. ábra: Alakváltozás

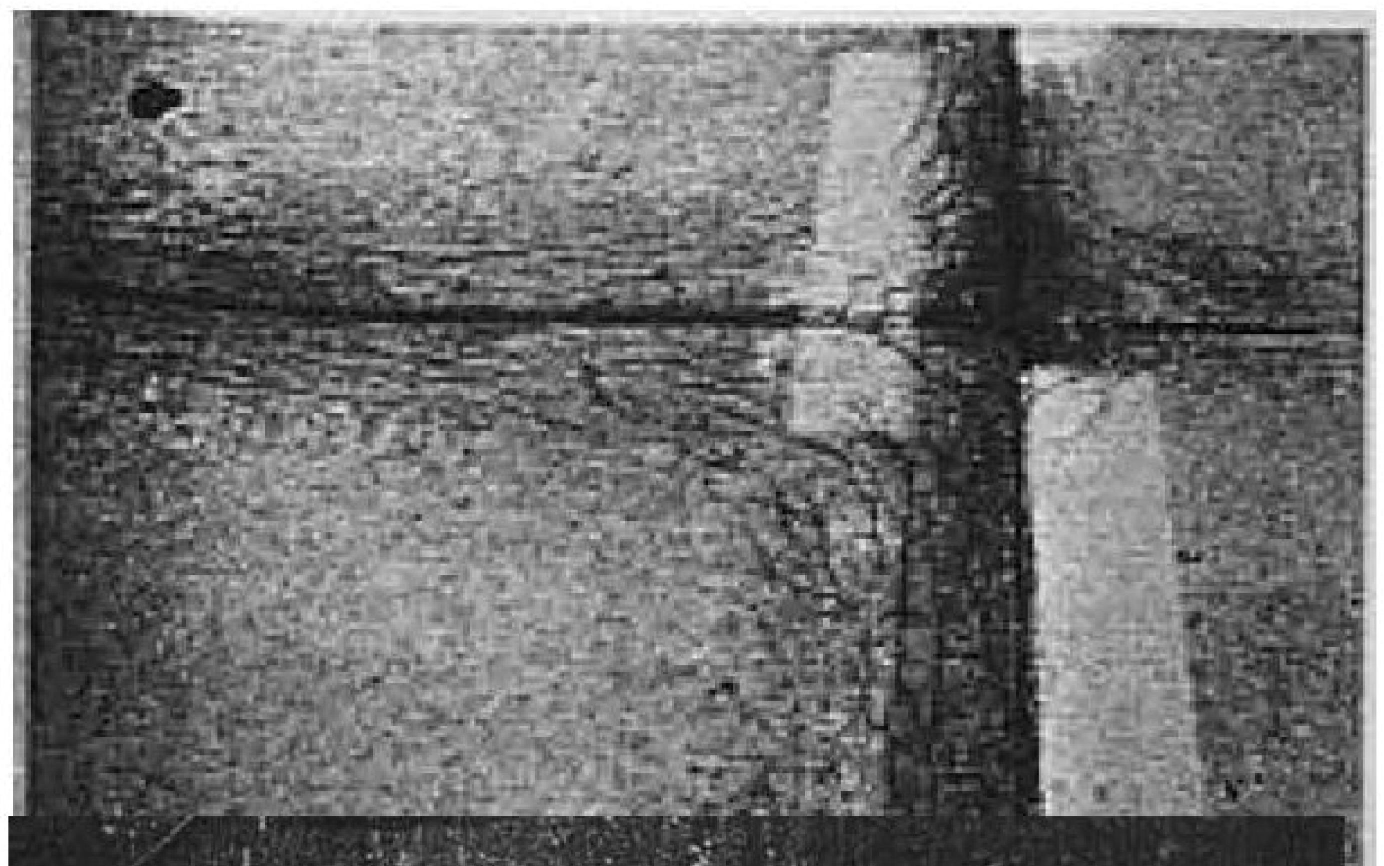
A.2.13. *Erózió (erosion)* – szilárd test fokozatos tönkremenetele folyadékok, gázok, vagy mozgásban lévő szilárd anyagok koptató vagy kavitációs igénybevételére.

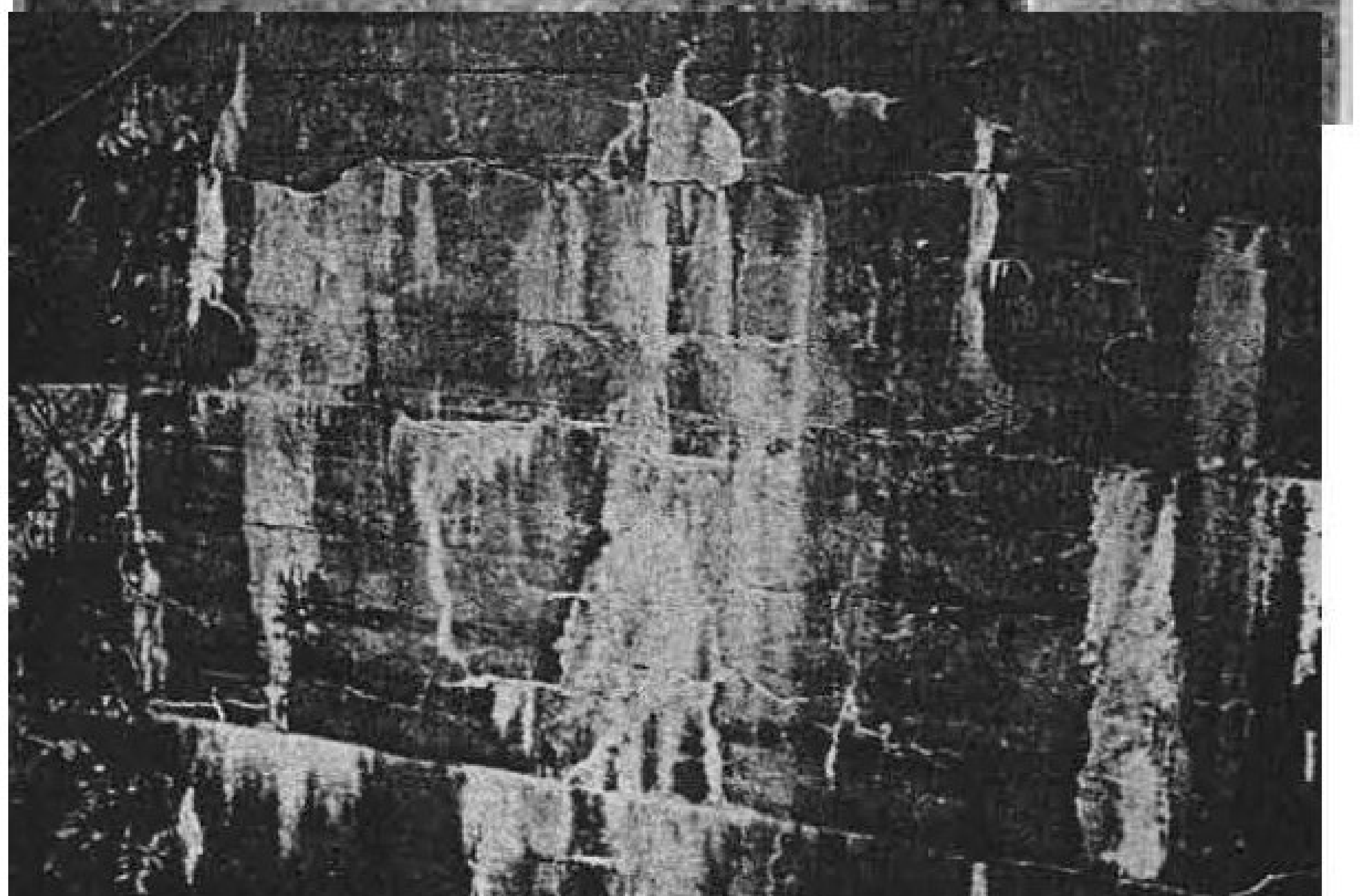
A.2.14. *Leveles leválás (exfoliation)* – tönkremenetel, amelyet az egymás utáni rétegek lehámlása idéz elő; duzzadás és levelekre vagy lemezekre való szétnyílás, mint egy részben kinyitott könyv.

A.2.15. *Szivárgás (exudation)* – folyékony vagy viszkózus, gélszerű anyag kiszivárgása a beton pórusain, repedésein vagy felületi nyílásain át.

A.2.16. *Hézagleválás (joint spall)* – hézaghoz kapcsolódó lepattogzás.

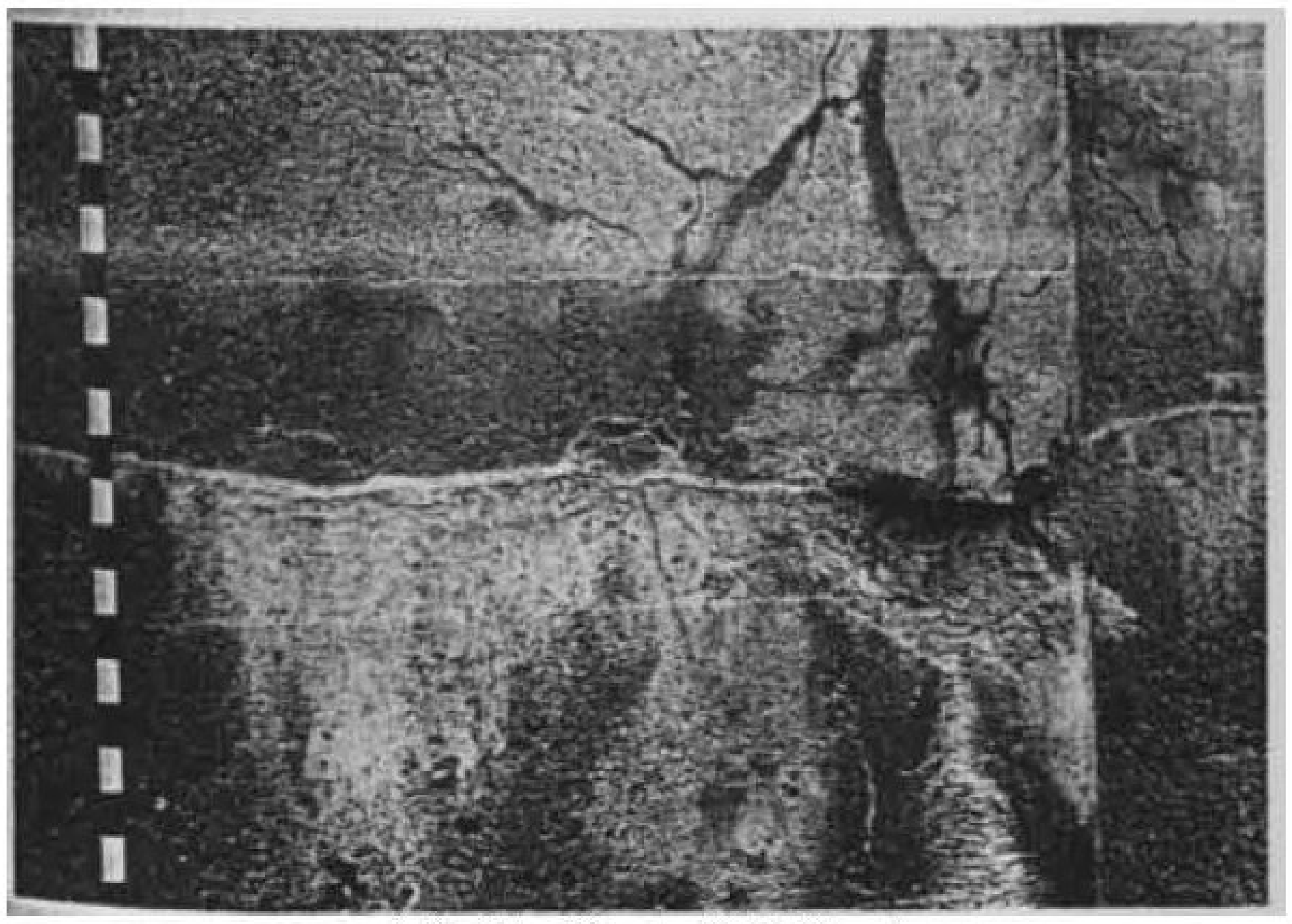
A.2.17. *Pontkorrózió (pitting)* – viszonylag kisméretű üregek kialakulása felületeken; betonon korlátozott felbomlás, mint amilyen a pontszerű hámlás; acélon lokalizált korróziós jelenség, mint parányi üregek a felületen.





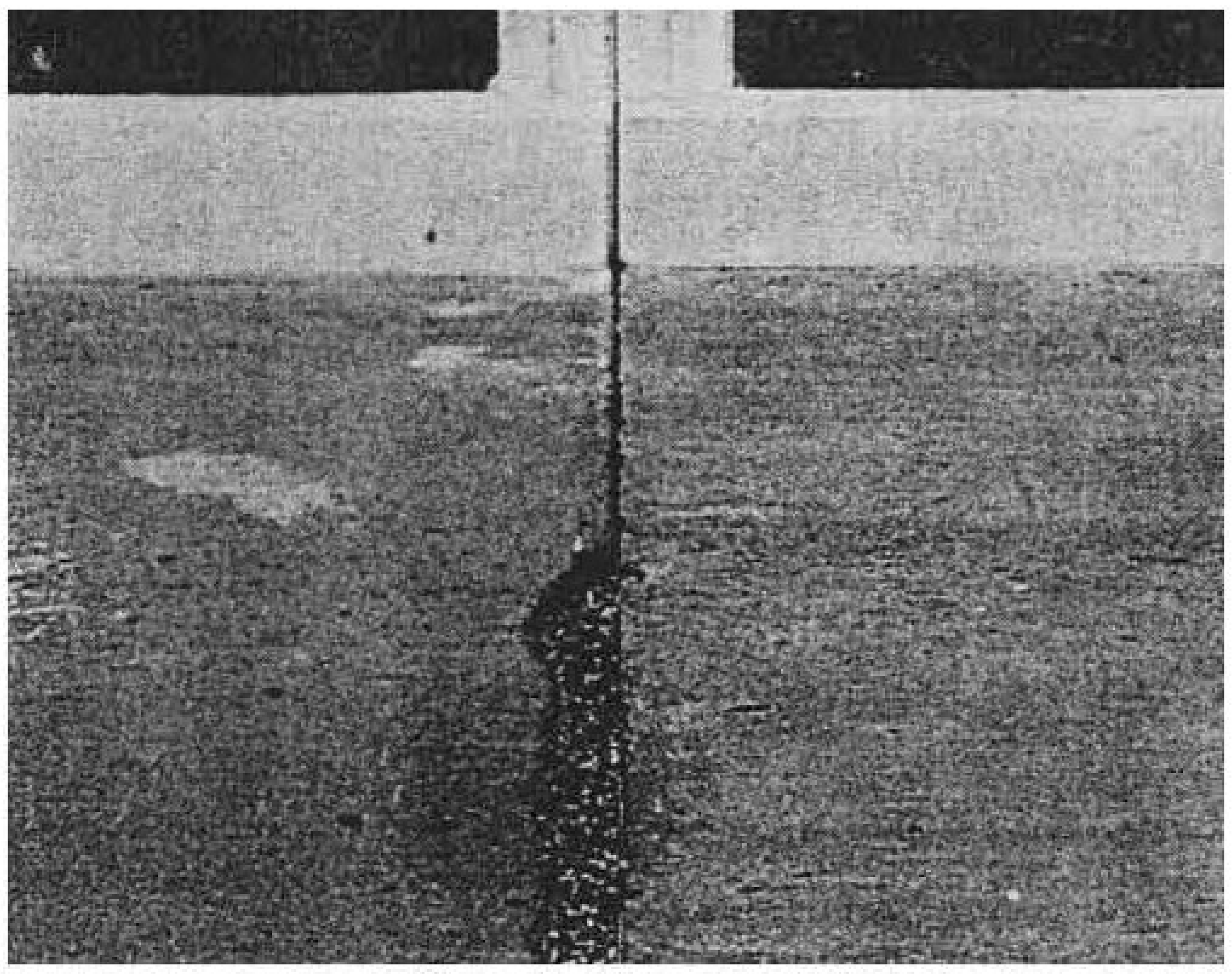
A.2.12. ábra: Kivirágzás

A.2.13. ábra: Erózió

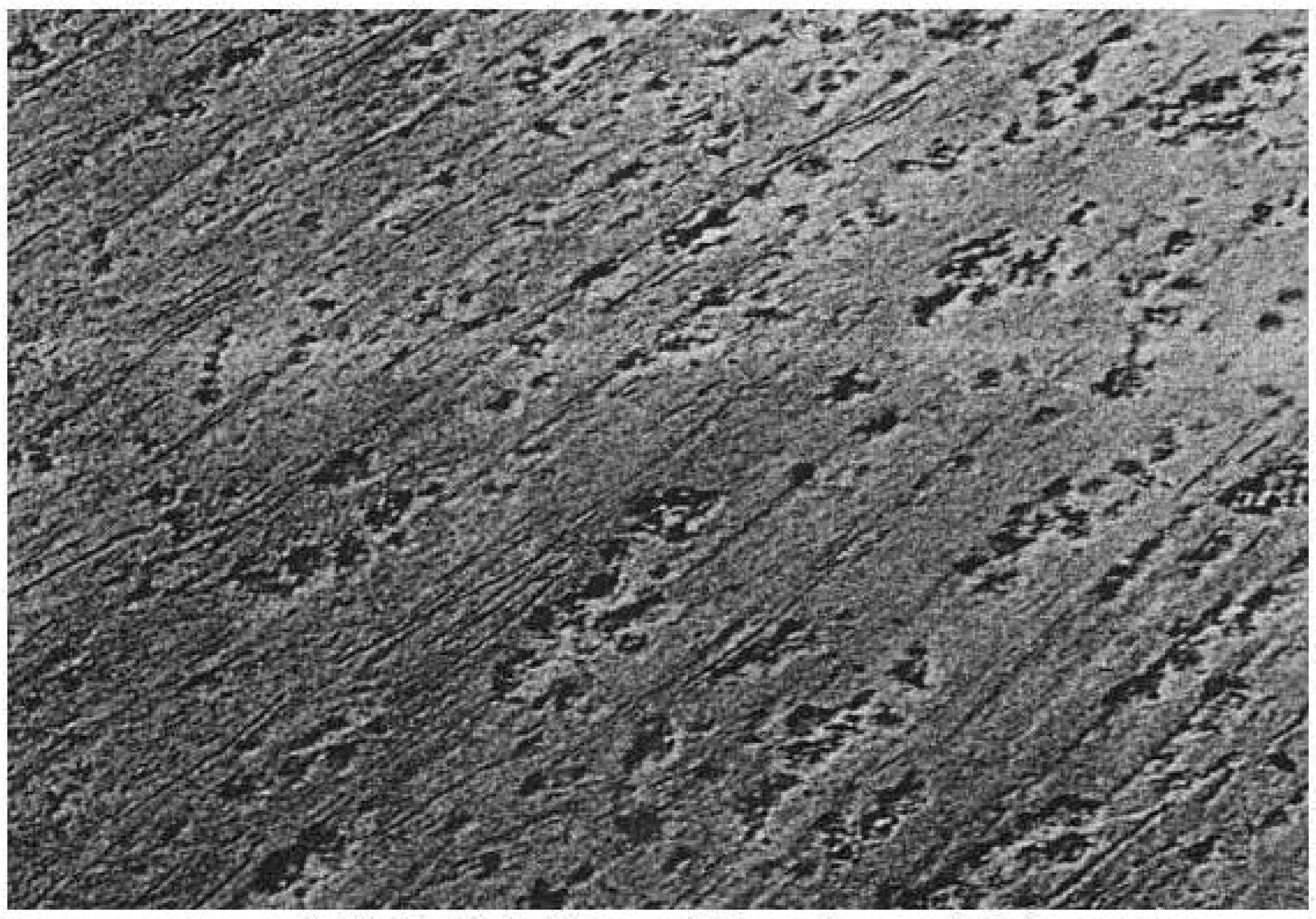


A.2.15. ábra: Szivárgás

A.2.16.a. ábra: Hézagleválás



A.2.16.b. ábra: Hézagleválás



A.2.1.17. ábra: Pontkorrózió

A.2.18. *Hámlás (peeling)* – folyamat, amelyben a bagarcs vékony pikkelyei letörnek a beton felületéről a felületi habarcs meghibásodása vagy a zsaluzathoz való tapadása miatt, amikor a zsaluzatot eltávolítják.

A.2.19. *Kihámozódás (popout)* – a betonfelület kis részének a kiszakadása a helyi belső nyomás következtében, amely sekély mélységű, jellegzetesen kónikus horpadást hagy hátra.

A.2.19.1. *Kis kihámozódások (popouts, small)* – átmérője ≤ 10 mm

A.2.19.2. *Közepes kihámozódások (popouts, medium)* – átmérője 10-50 mm

A.2.19.3. *Nagy kihámozódások (popouts, large)* – átmérője > 50 mm.

A.2.20. *Hámlás (scaling)* – helyi lepattogzás vagy hámlás a szilárd beton vagy habarcs felület-közeli rétegében; rétegképződés fémen is.

A.2.20.1. *Könnyű hámlás (scaling, light)* – Habarcsveszteség, amely nem jeleníti meg a durva adalékanyag szemeket

A.2.20.2. *Közepes hámlás (scaling, medium)* – a habarcsréteg 5-10 mm mélységű elvesztése és a durva adalékanyag megjelenítése.

A.2.20.3. *Erőteljes hámlás (scaling, severe)* – a habarcsréteg 5-10 mm mélységű elvesztése a durva adalékanyag szemek körüli habarcs 10-20 mm mélységű leválásával.

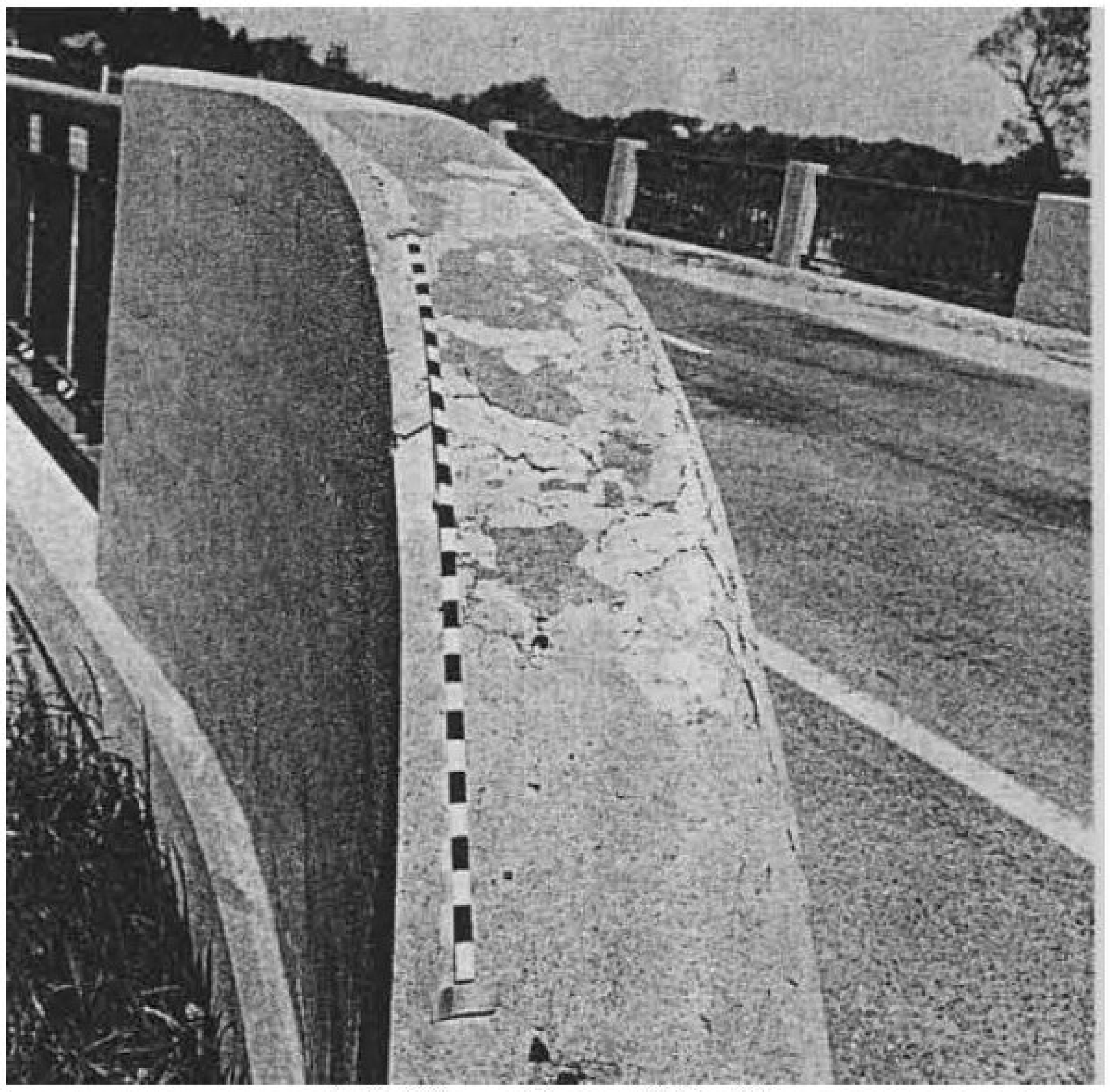
A.2.20.4. *Nagyon erőteljes hámlás (scaling, very severe)* – a habarccsal együtt a durva adalékanyag szemei is elveszhetnek több, mint 20 mm mélységben.

A.2.21. *Szilánk (spall)* – töredék, rendszerint pikkely alakú, amely nagyobb tömbből vált le robbanás, időjárási hatás, nyomás vagy nagyobb tömegen belüli duzzadás miatt.

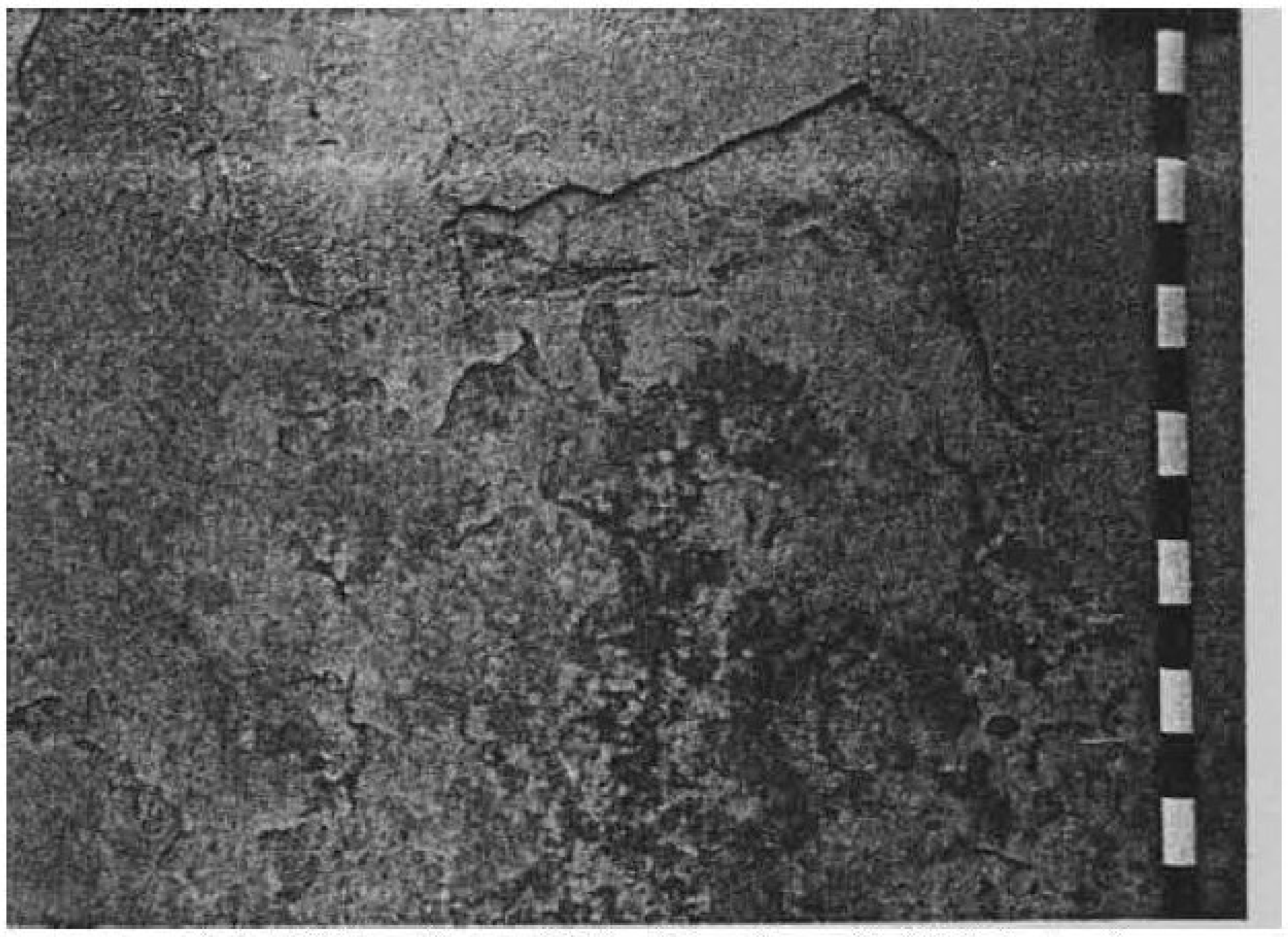
A.2.21.1. *Kis szilánk (small spall)* – durván kör alakú mélyedés, legfeljebb 20 mm mélyésgű és legfeljebb 50 mm méretű bármely irányban.

A.2.21.2. *Nagy szilánk (large spall)* – nagyjából kör alakú vagy ovális lehet, néha hosszúkás, 20 mm-nél nagyobb mélységgel és 150 mm legnagyobb mérettel.

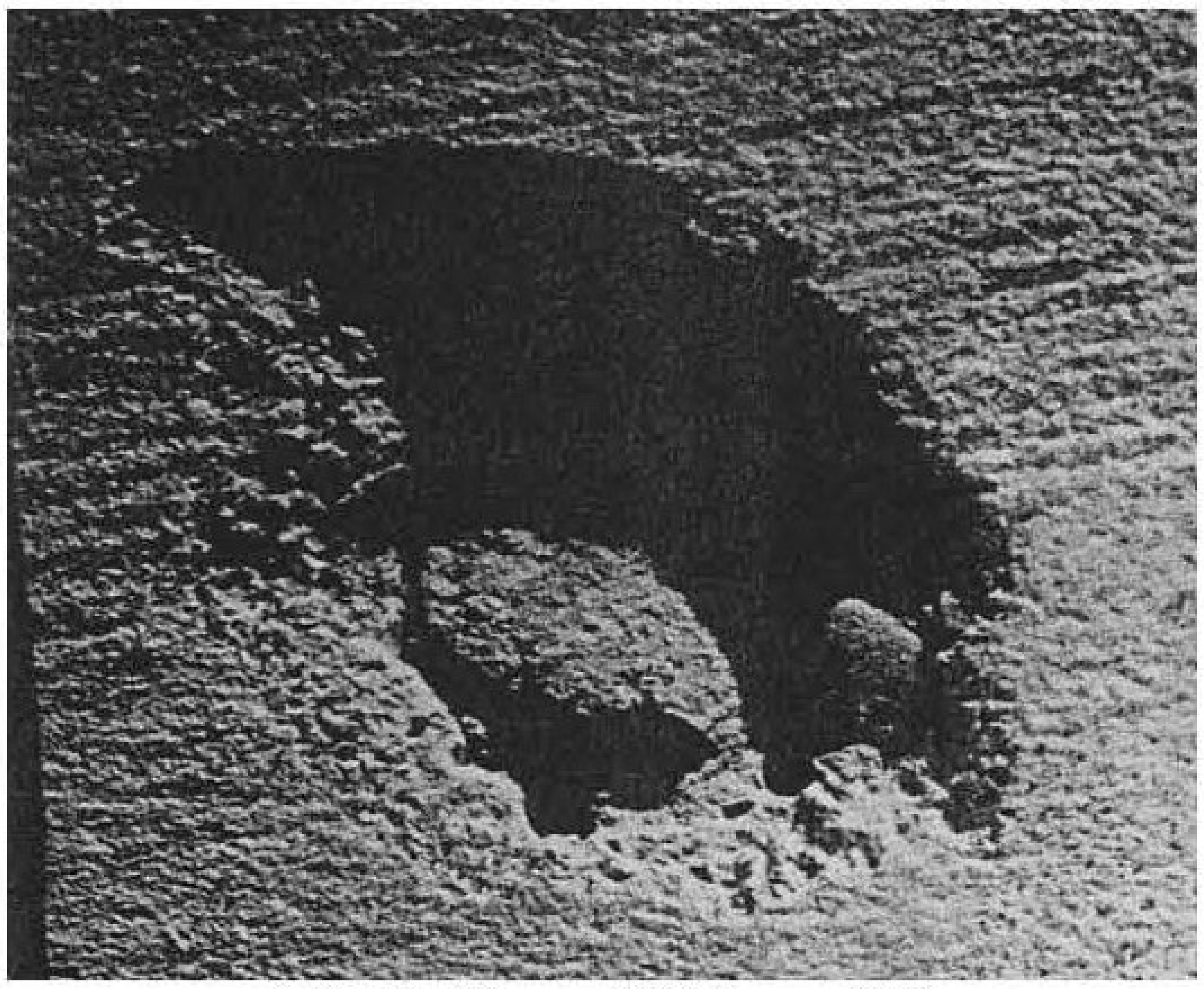
A.2.22. *Vetemedés (warping)* – lemez vagy falfelület eltérése az eredeti alaktól, rendszerint a lemezen vagy a falon belüli hőmérséklet vagy nedvességtartalom vagy mindkettő változásának a következtében.



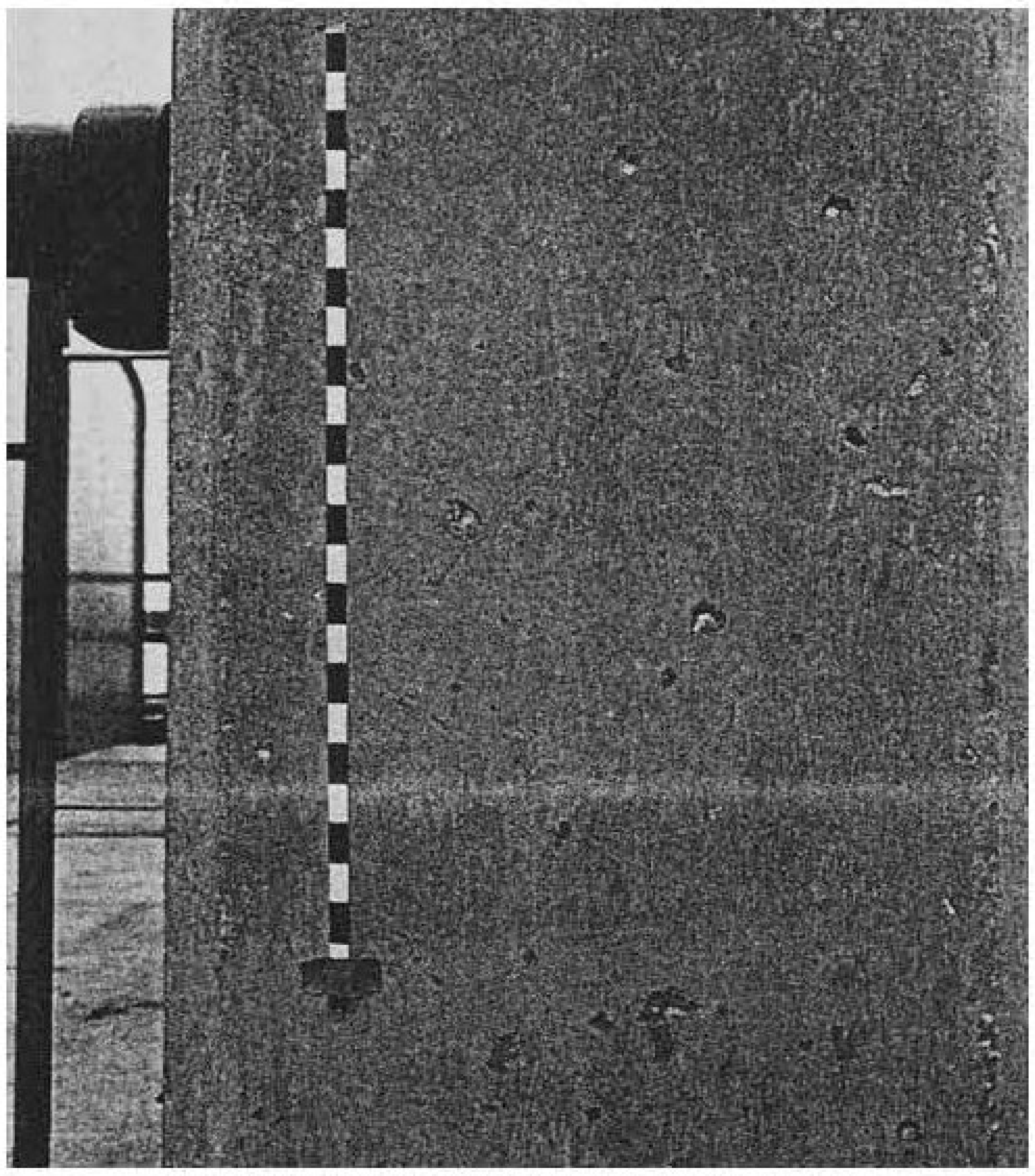
A.2.18.a. ábra: Hámlás



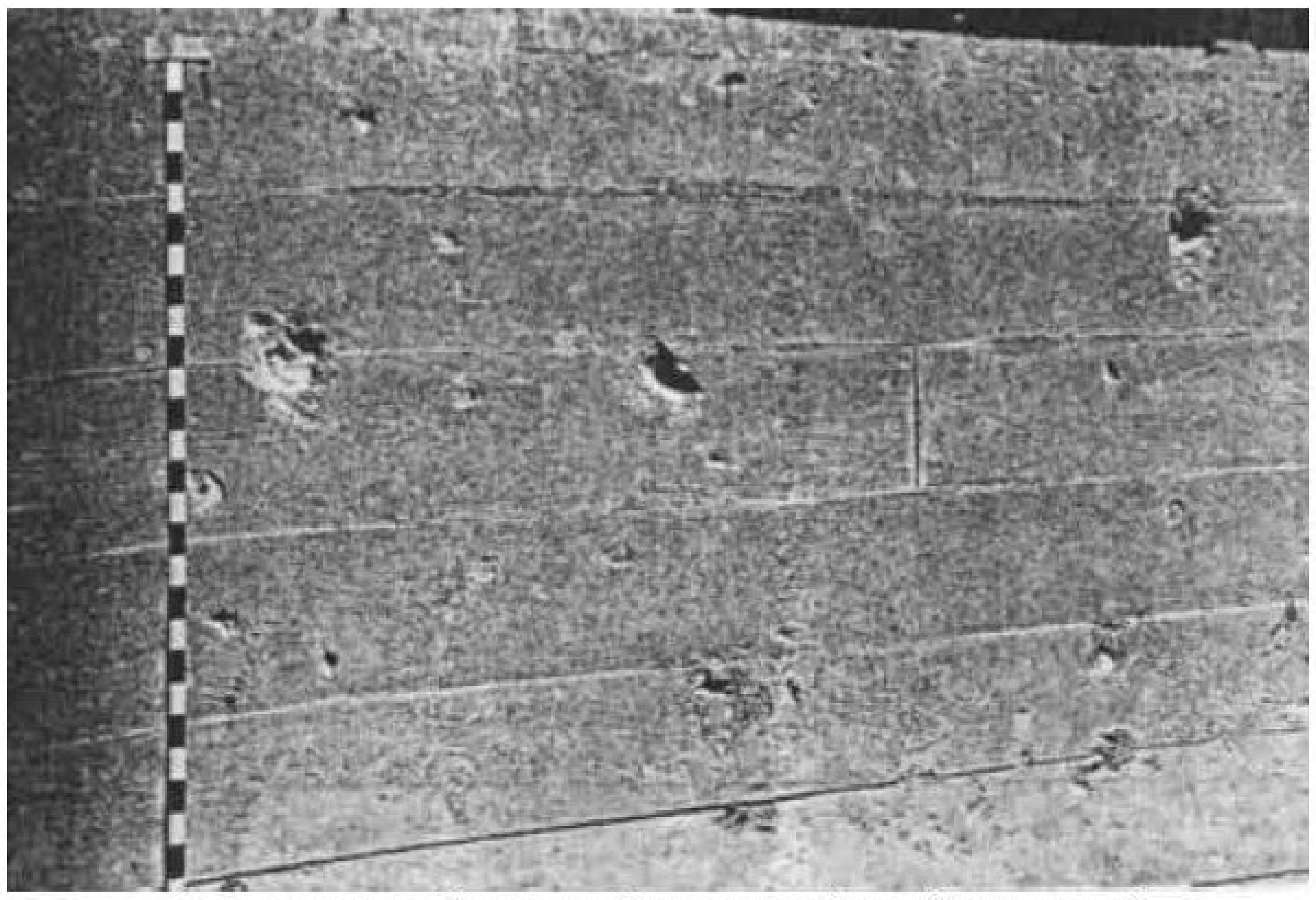
A.2.18.b. ábra: Hámlás (közelről felvéve)



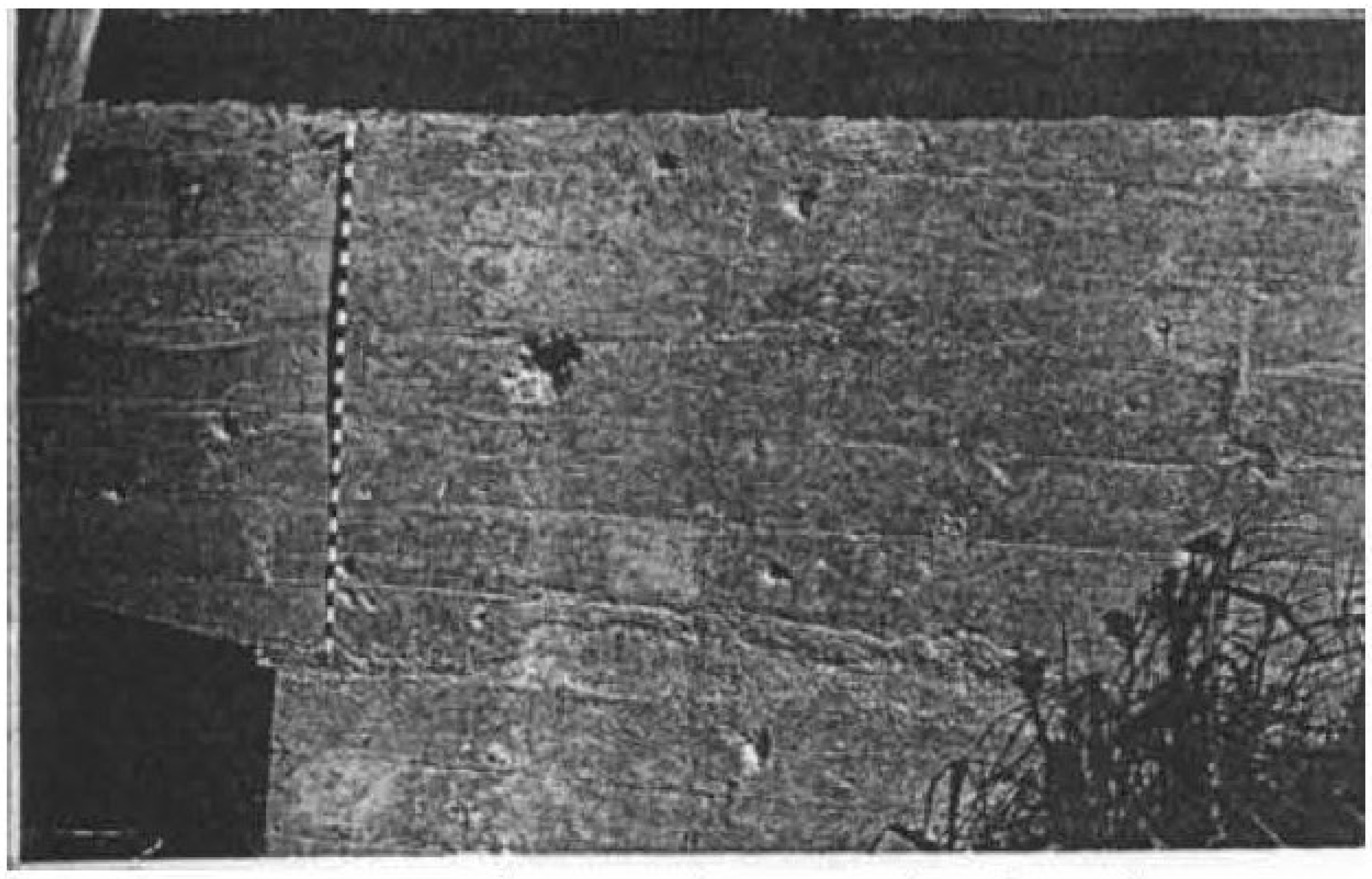
A.2.19. ábra : Kihámozódás



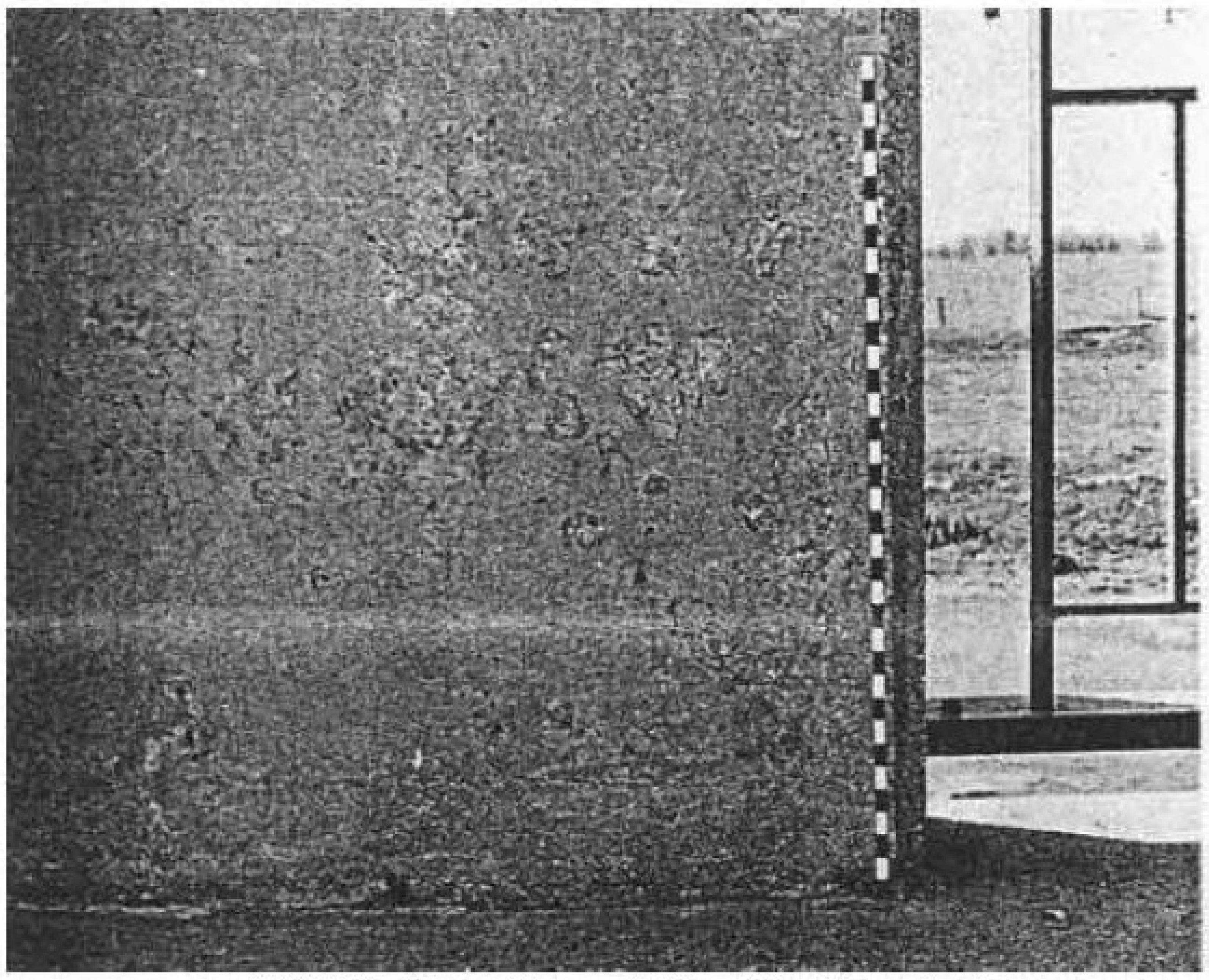
A.2.19.1. Kihámozódás (kicsi)



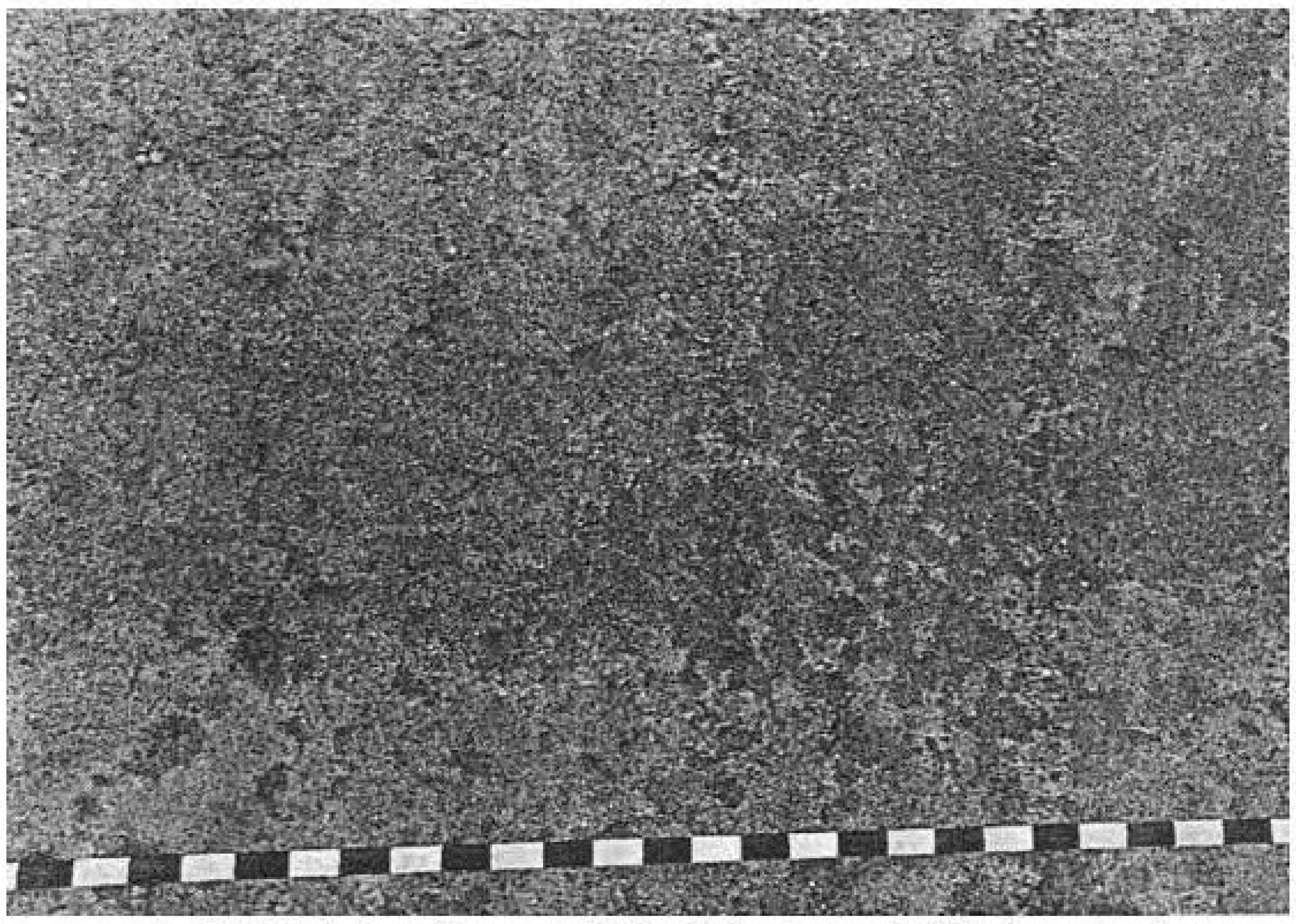
A.2.19.2. ábra: Kihámozódás (közepes)



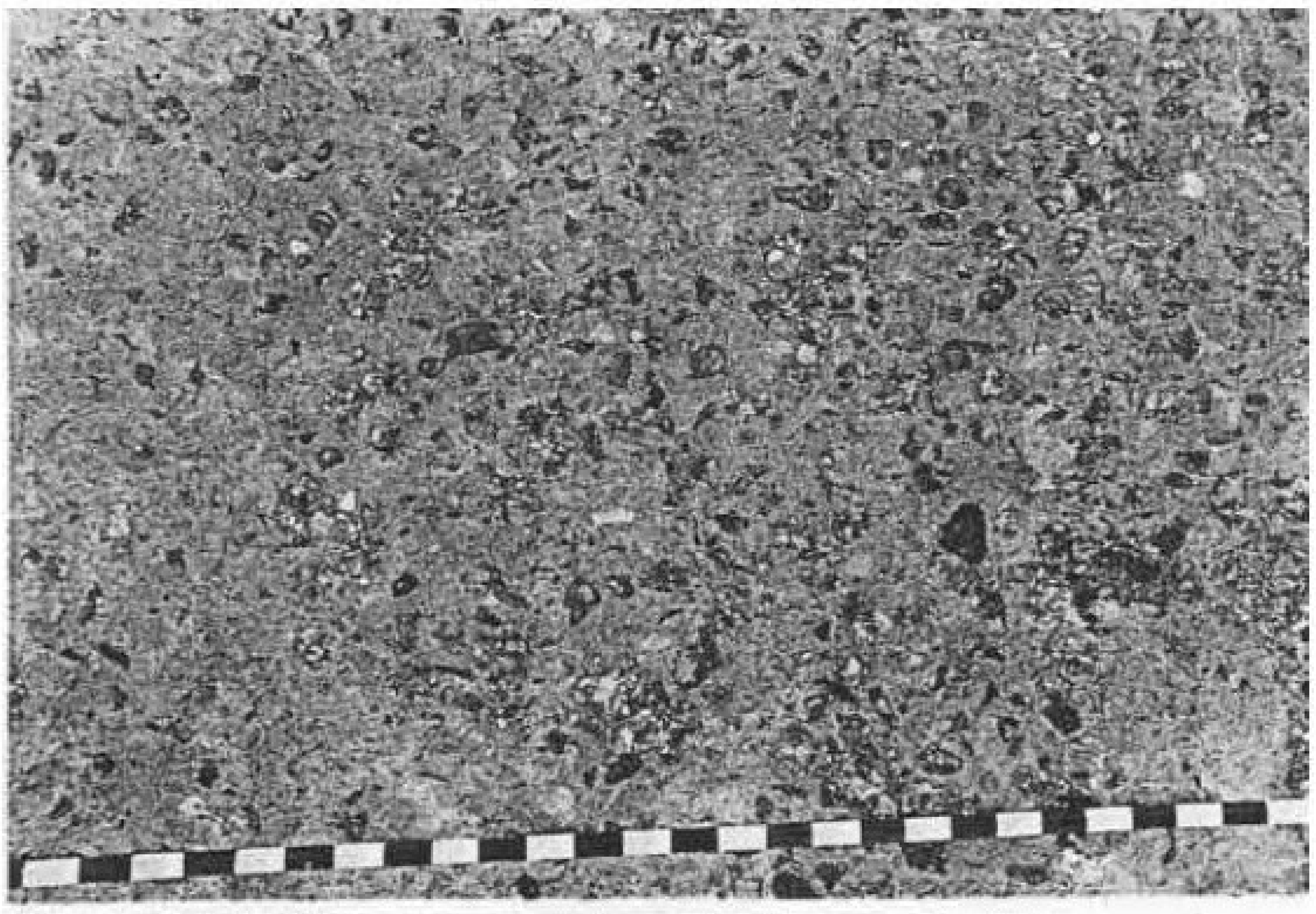
A.2.19.3. ábra : Kihámozódás (nagy)



A.2.20.1.a. ábra: Hámlás (enyhe)

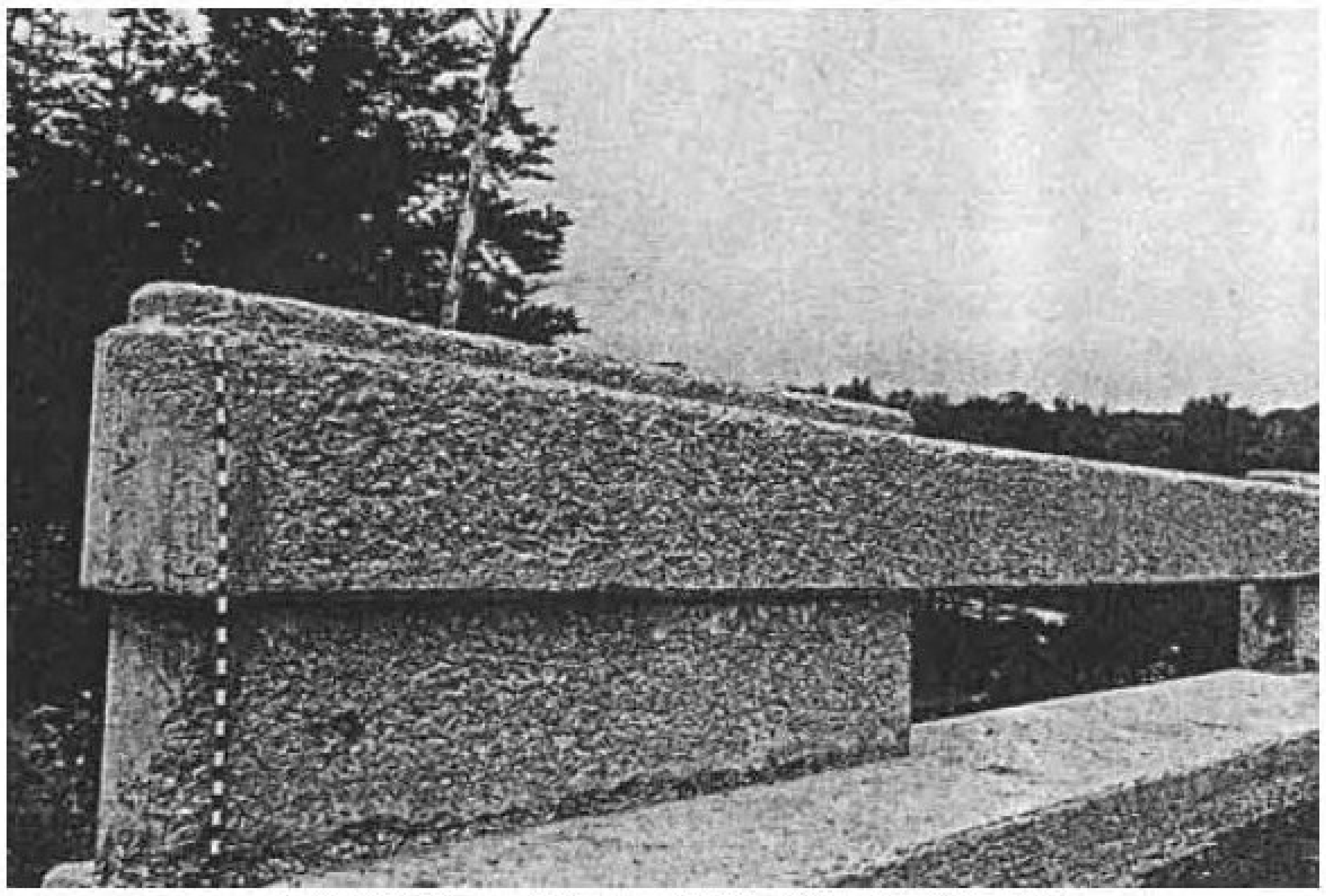


A.2.20.1.b. ábra : Hámlás közelről (enyhe)



A.2.20.2.b. ábra: Hámlás közelről (közepes)

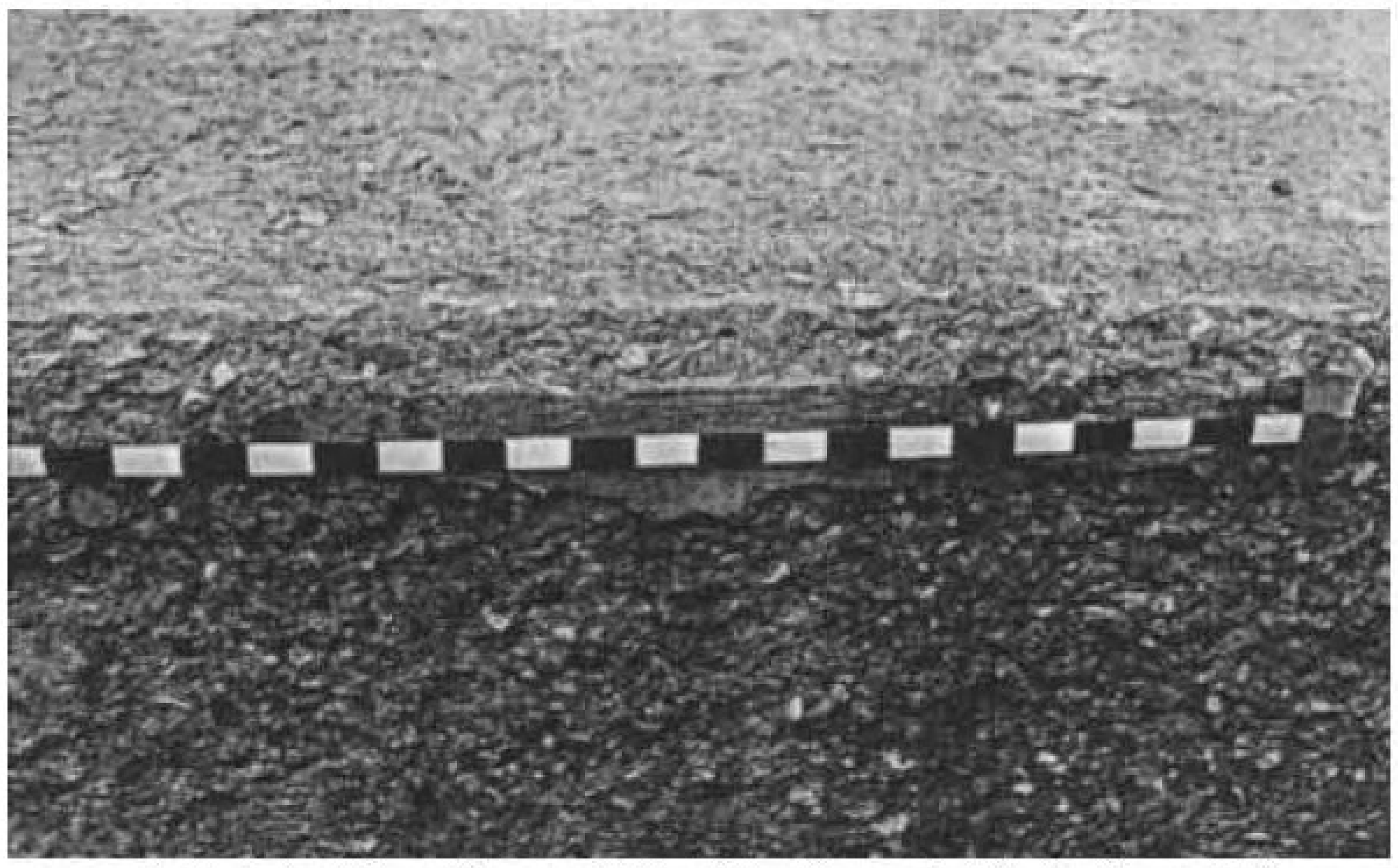
A.2.20.2.a. ábra: Hámlás (közepes)



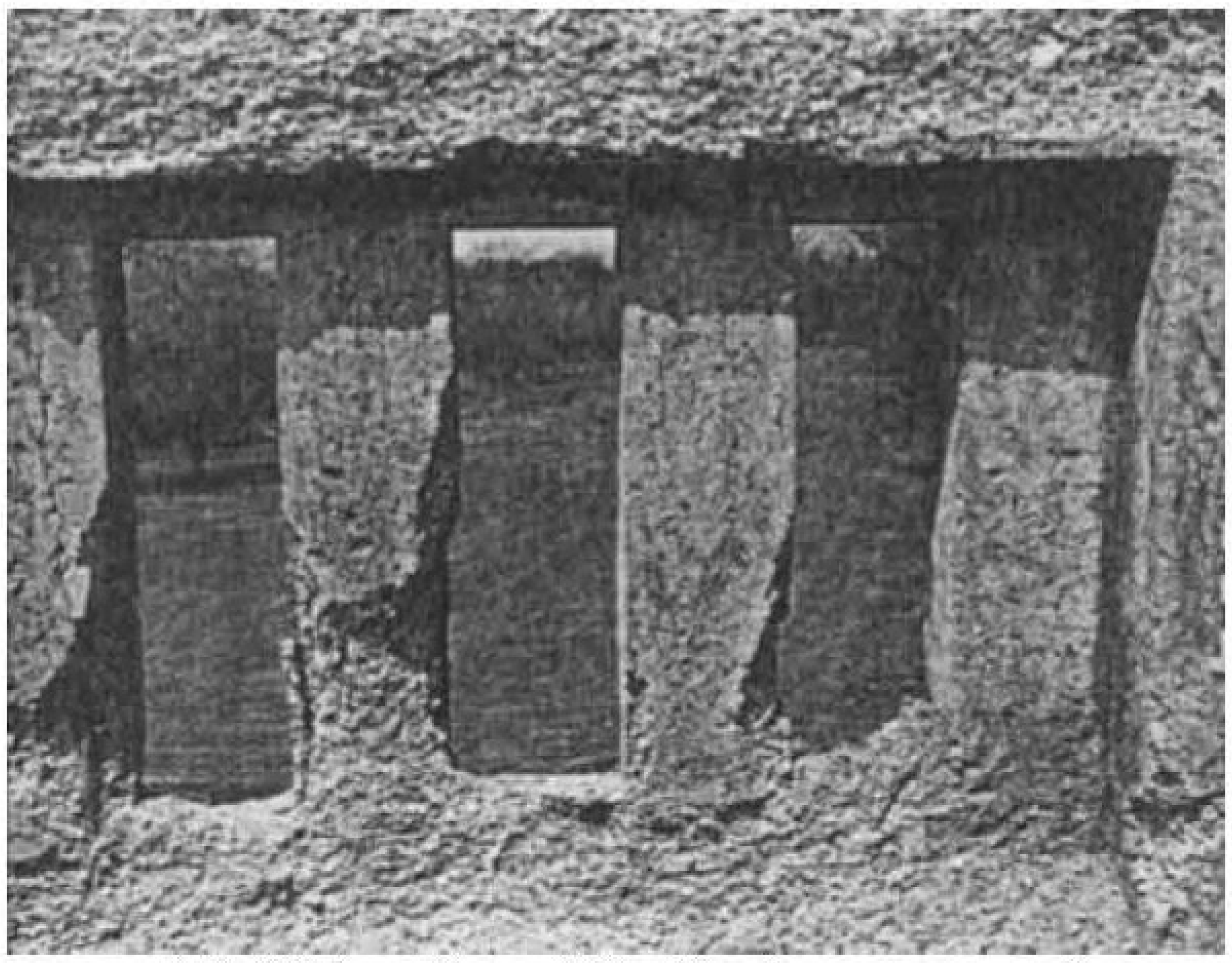
A.2.20.3.a. ábra: Hámlás (jelentős

A.3. *Szövetszerkezeti jellemzők és jelenségek kialakulásukhoz kapcsolódva.*

A.3.1. *Légzárvány (air void)* – levegővel töltött tér a cementpépben, habarcsban vagy betonban; a befogott légzárvány jellegzetesen 1 mm méretű vagy nagyobb és szabálytalan alakú; a képzett légzárvány jellegzetesen 10 µm és 1 mm közötti átmérőjű és gömb alakú vagy közel ilyen.



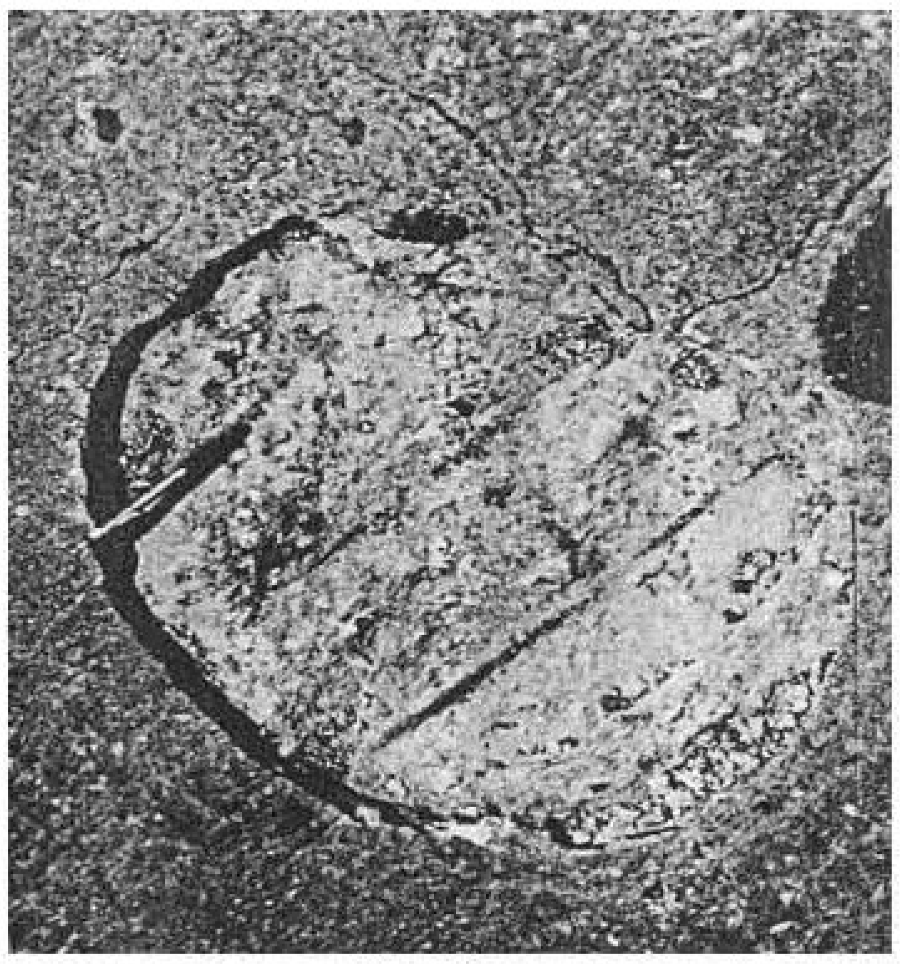
A.2.20.3.b. ábra: Hámlás közelről (jelentős)



A.2.20.4.a. ábra: Hámlás (nagyon nagy)

A.2.20.4.b. ábra: Hámlás közelről (nagyon nagy)

A.2.21.1. ábra: Kis szilánk



A.2.21.2. ábra: Nagy szilánk

A.3.2. *Vérzés (bleeding)* – a keverővíz kifolyása vagy felnyomódása önmagától a frissen bedolgozott betonból, ezt a keverékben lévő szilárd anyagok ülepedése okozza; vízgyarapodásnak is nevezik.

A.3.3. *Hiba okozta hézag (bogholes)* – kisméretű szabályos és szabálytalan üregek, rendszerint legfeljebb 15 mm átmérővel, amelyek a bedolgozás és a merevedés alatt kialakult betonfelületbe befogott légbuborékok következményei.

A.3.4. *Hideg kapcsolat (cold joint)* – a megfelelő időhöz képest való késlekedés miatt kialakult kapcsolati vagy folytonossági hiány, amely megakadályozza, hogy az anyag egymás után következőkét rétege összedolgozódjék.

A.3.5. *Hideg kapcsolatok vonalai (cold-joint lines)* – a bedolgozott beton felületén látható vonalak olyan kapcsolat meglétét jelezve, ahol a beton egyik rétege már megszilárdult, mielőtt a következő réteget rádolgozták volna.

A.3.6. *Elszíneződés (discoloration)* – eltérés az előírt vagy normális színtől.

A.3.7. *Kavicsfészek (honeycomb)* – betonban maradó üregek, a habarcshiány miatt az üregek nincsenek teljesen kitöltve a durva adalékanyag szemek között.

A.3.8. *Kérgesedés (incrustation)* – a betonszerkezeteken, vagy a falazatokon, vagy az adalékanyag szemeken kialakult, általában kemény lerakódás vagy bevonat.

A.3.9. *Csatlakozás (joint)* – fizikai szétválasztás akár előregyártott akár a helyszínen készített betonban, beleértve a repedéseket is, ha ezeknek a helyzetét tudatosan választották ki; az a tartomány is, ahol a szerkezeti elemek meg vannak szakítva, mint amilyen a gerenda-oszlop csatlakozás.

A.3.10. *Cementtej (laitance)* – cementet és finom adalékanyagot tartalmazó vékony és nem keményedő réteg, amelyet a víz kivérzése visz a túl vizes beton felületére; mennyisége általában növekszik a beton túltömörítésével és túlzott kezelésével a nem megfelelően lesimított beton felületén vagy a munkahelyi forgalom mellett.

A.3.11. *Homokfészek (sand pocket)* – a betonban vagy a habarcsban lévő zóna, amely finom homokot tartalmaz kevés cementtel vagy anélkül.

A.3.12. *Homoksáv (sand streak)* – finom adalékanyagot megjelenítő sáv a zsaluzott beton felületén, amelyet a beton vérzése okozott.

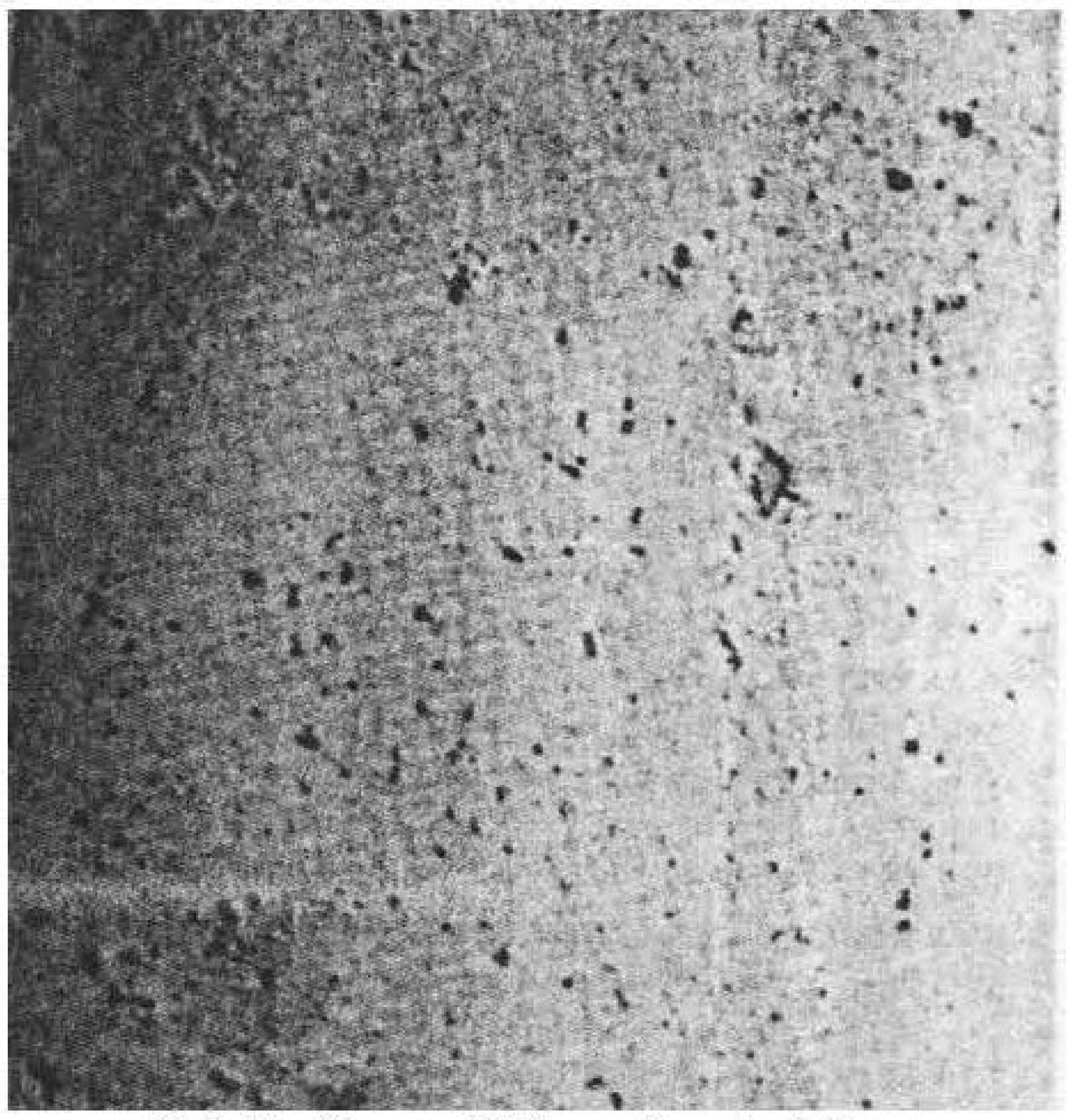
A.3.13. *Szétosztályozódás (segregation)* – összekevert betonban, adalékanyagban, vagy hasonlóban az alkotók eltérő koncentrációja, amely a halmaz nem egyenletes eloszlását okozza.

A.3.14. *Függő cseppkő (stalactite)* – lefelé irányuló lerakódás, amely a kőzet vagy a beton felületéről lecsepegő víz elpárolgásával képződő ásványi anyag növekmény, általában jégcsap alakú.

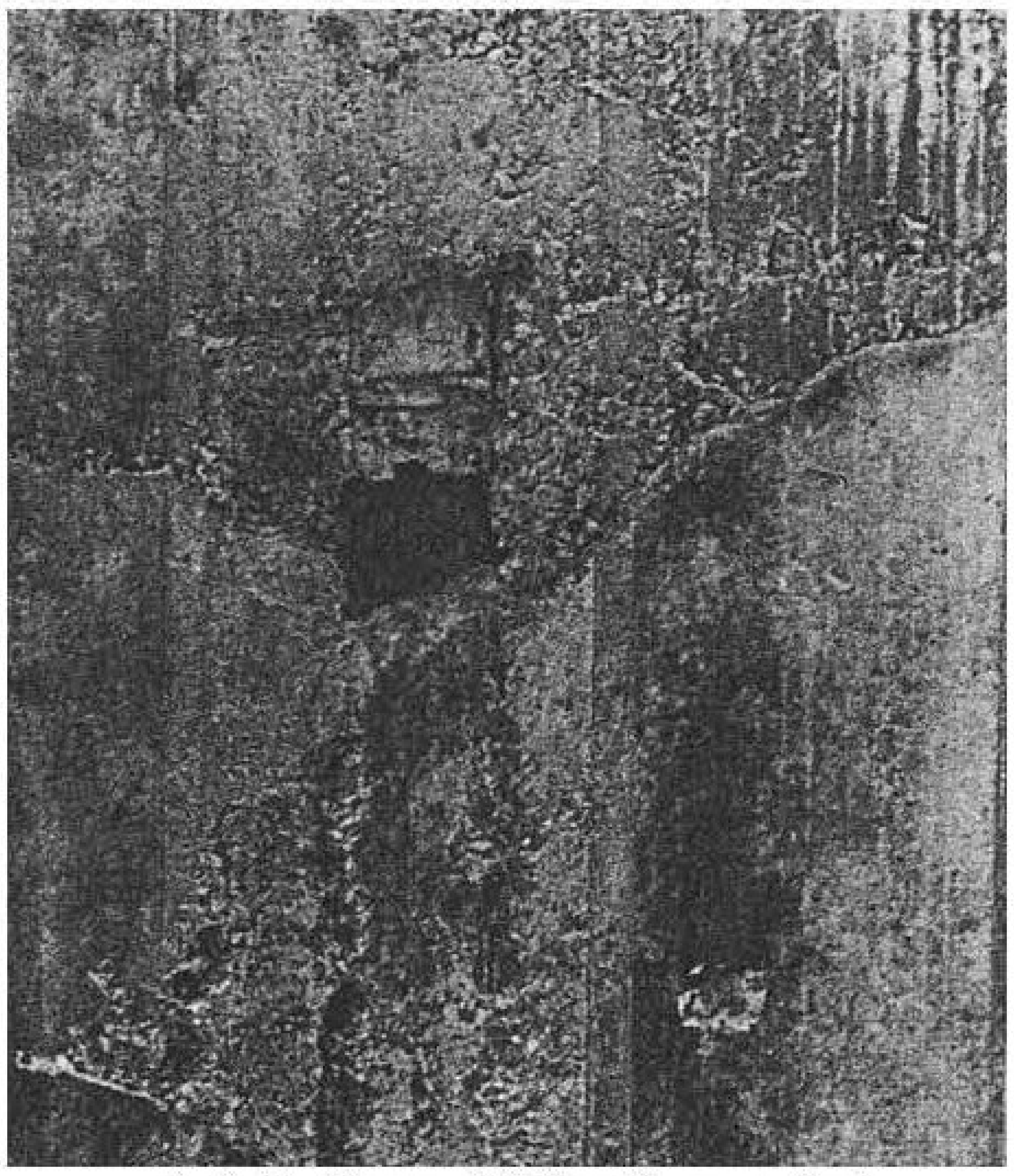
A.3.15. *Álló cseppkő (stalagmite)* – felfelé irányuló lerakódás, amely a kőzet vagy a beton felületéről lecsepegő víz elpárolgásával képződő, a felületről kiemelkedő ásványi anyag növekmény, általában kúpalakú.

A.3.16. *Rétegképződés (stratification)* – a túlnedvesített vagy túlvibrált beton különválása vízszintes rétegekre, a felső szint felé egyre könnyebb anyagokkal; víz, cementtej, habarcs és durva adalékanyag ebben a sorrendben hajlamos egyre alacsonyabb szintet elfoglalni; az egymás utáni, eltérő kinézésű betonadagok bedolgozásából eredő rétegződés a betonban; az adalékanyag depóniában a különböző szemeloszlású vagy összetételű rétegek előfordulása; kőalapban rétegzett struktúra.

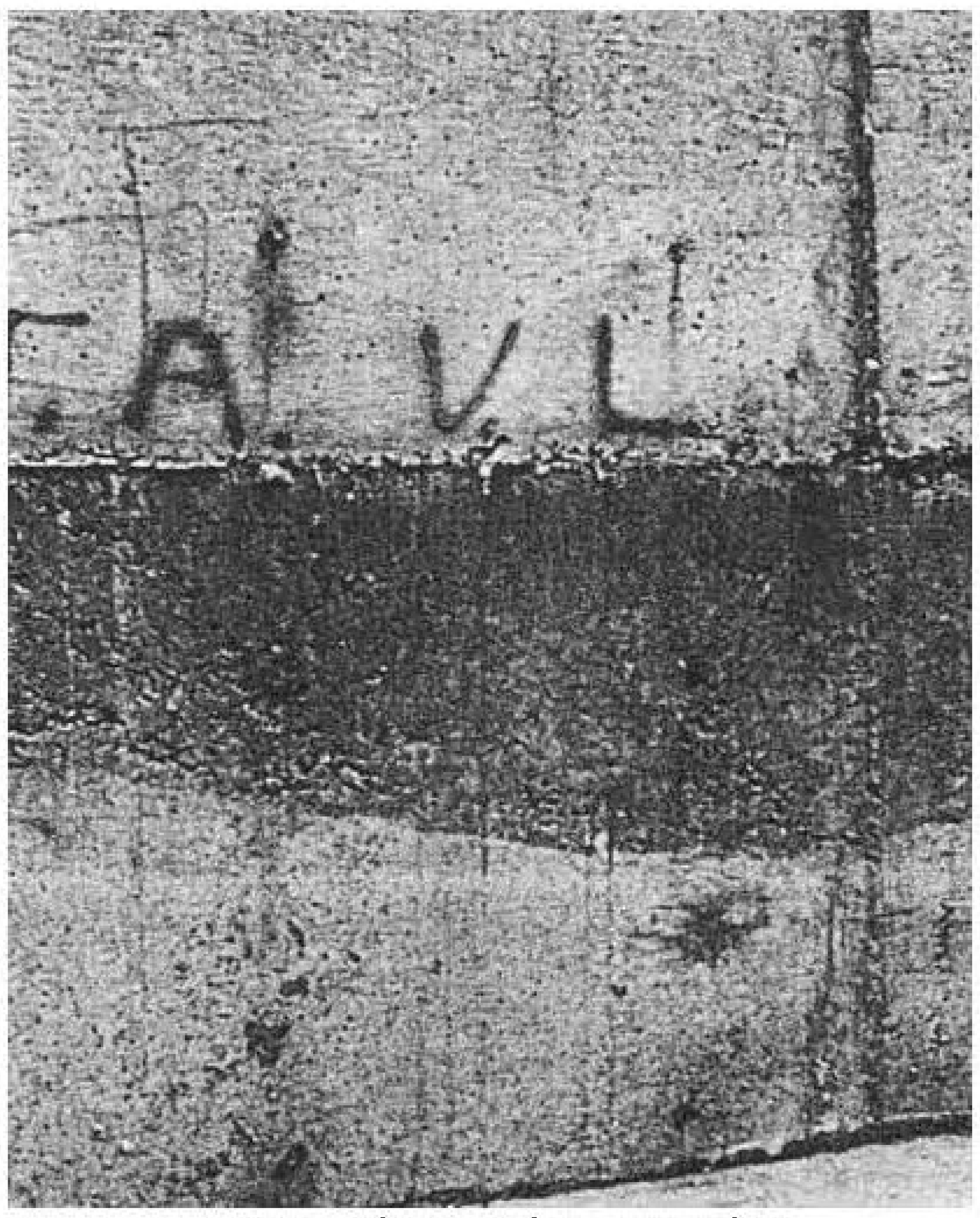
A.3.17. *Vízzsák (water void)* – az adalékanyag vagy az acélbetét alatt képződött üreg, amely a vérzési időszakban alakul ki; kezdetben kitölti a kivérzett víz.



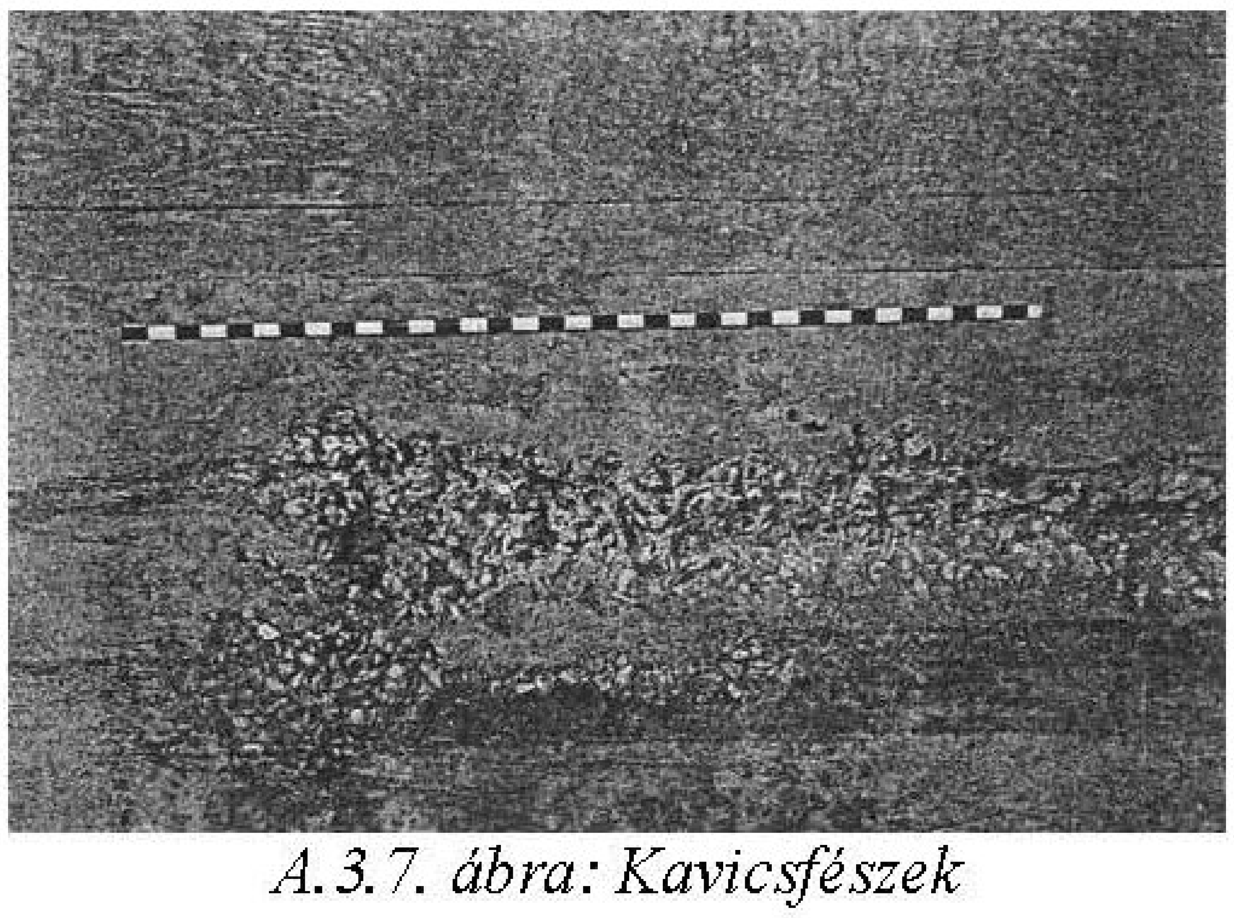
A.3.3. ábra: Hiba okozta hézag



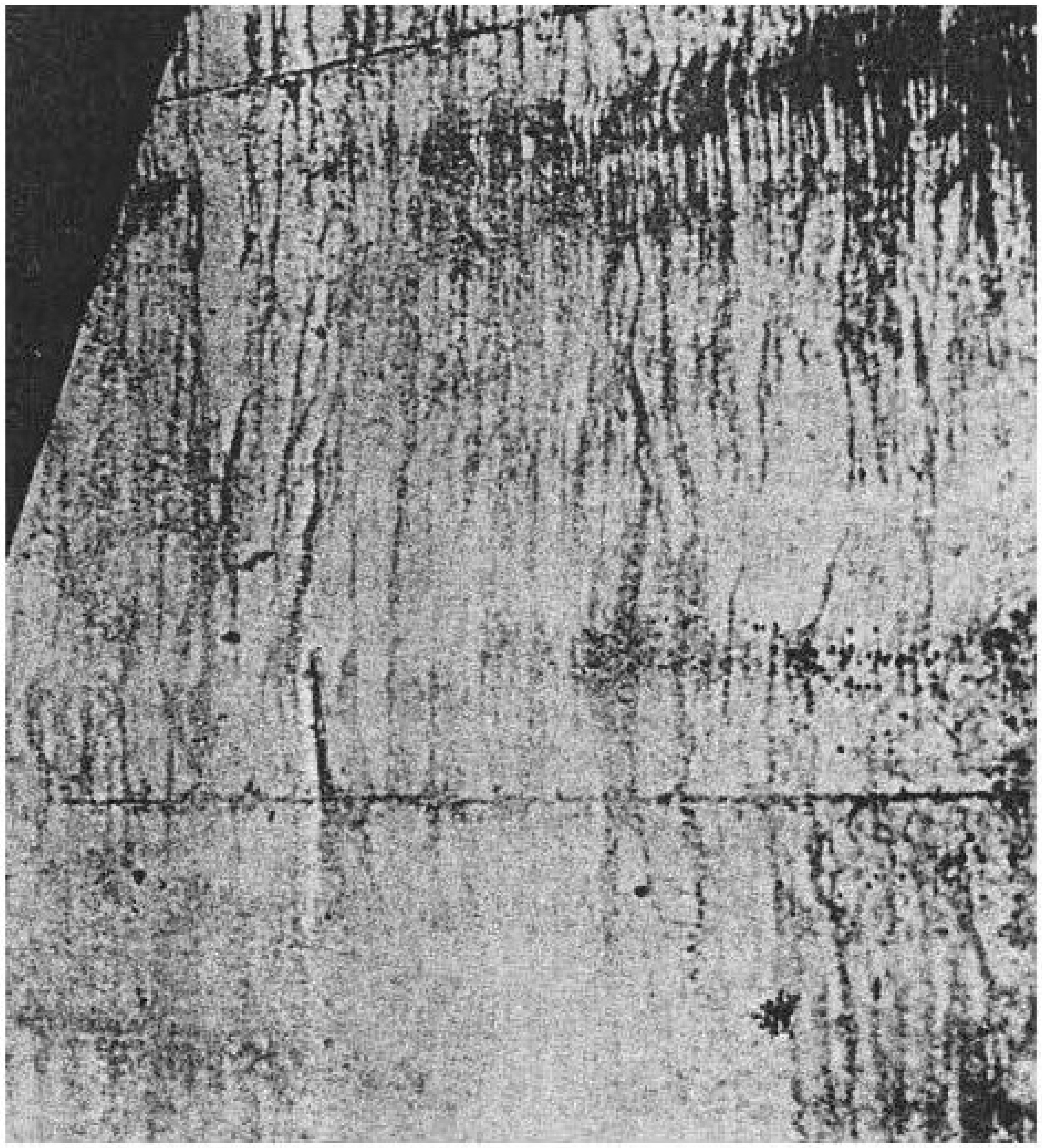
A.3.5. ábra: Hideg kapcsolat



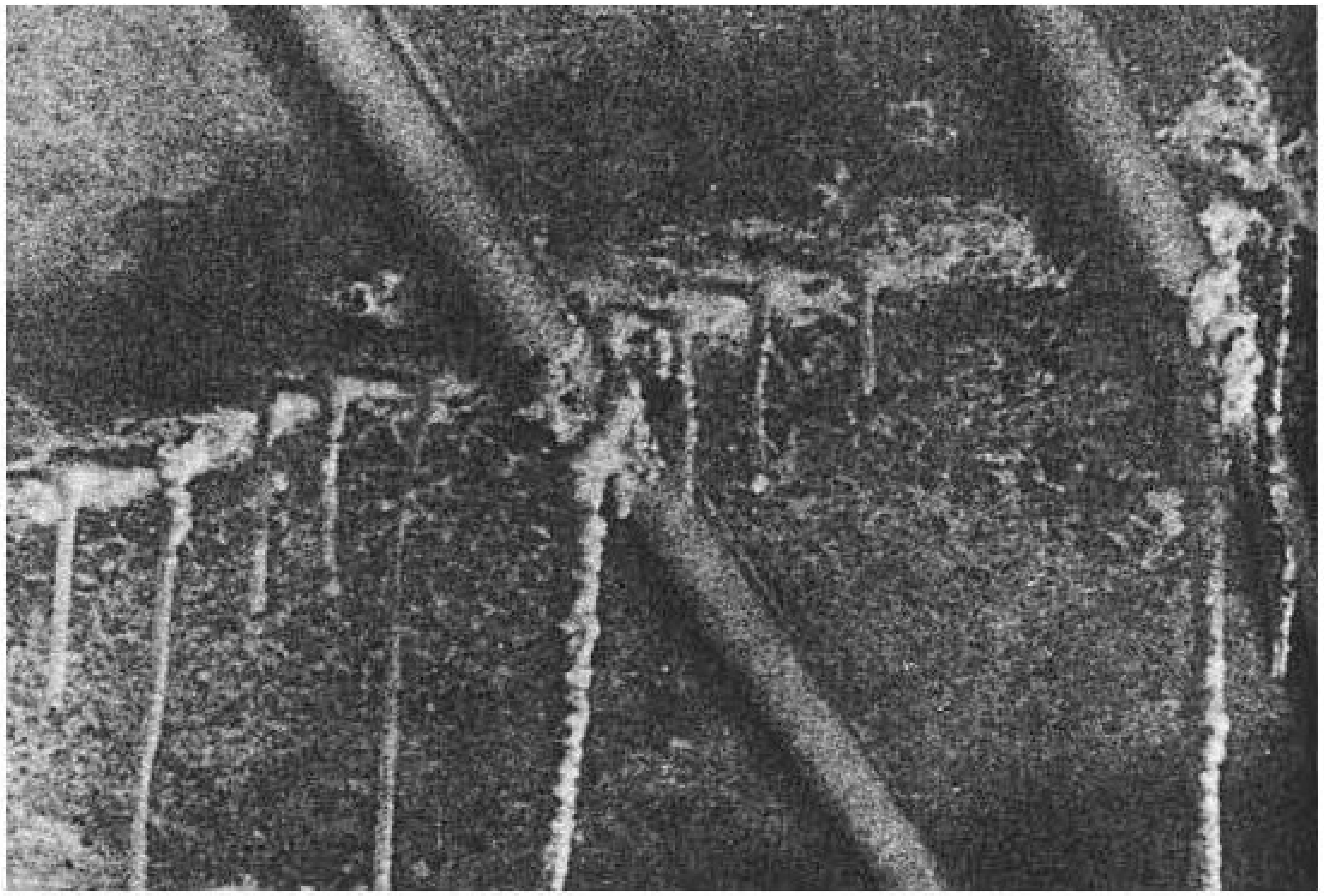
A.3.6. ábra: Elszíneződés



A.3.7. ábra: Kavicsfészek



A.3.12. ábra: Homoksáv



A.3.14. ábra: Függő cseppkő

AZ ÉTI ÉS A CEMKUT K+F KFT. BETONTECHNOLÓGIAI LABORATÓRIUM TUDOMÁNYOS TEVÉKENYSÉGE (1927-2002)

Dr. Ujhelyi János

1. ÁLTALÁNOS ADATOK

A Cemkut K+F Kft. Betontechnológiai laboratórium élettörténete – figyelemmel a jogfolytonosságra – a következő:

- 1927 – 1947: Budapest Székesfőváros Anyagvizsgáló Laboratórium, Mechanikai osztály
- 1947 – 1990: Építéstudományi Intézet, Betontechnológiai osztály
- 1991 – 1995: Építéstudományi Intézet, Betontechnológiai tagozat
- 1995 – 2001: Betonolith K+F Kft. Betontechnológiai és Kőzetmechanikai Kutató, Fejlesztő, Minőségbiztosító Kft.
- 2001 – től: Cemkut K+F Kft. Cementipari Kutató, Fejlesztő Kft. Betontechnológiai Laboratórium

A Laboratórium vezetői a következők voltak:

1927 – 1958: Dr. Gáspár Géza
1958 – 1961: Dr. Kunszt György
1961 – 1976: Dr. Ujhelyi János
1977 – 1988: Dr. Kalmár Istvánné
1988 – 1990: Dr. Bodó László
1991 – 1995: Dr. Ujhelyi János
1996 – 2001: Dr. Szegő József
2001 – től: Dr. Fodor Márta

2. A KUTATÁS PÉNZFEDEZETE

A laboratórium működésének a költségeit 1927-1947 között a Budapest Székesfőváros Főpolgármesteri Hivatal fedezte. Miután a laboratóriumot az újonnan megalakított Építéstudományi Intézethez (ÉTI) csatolták, fenntartásáról az Építésügyi Minisztérium (ÉM) gondoskodott. A kutatási költségeket 1967 évig teljes egészében az ÉM folyósította, de ettől kezdve, az ún. „új gazdasági mechanizmus” bevezetését követően, az ÉTI működési költségeinek kezdetben mintegy 50 %-ához, később 60-70 %-ához az építőipari vállalatok kutatási, fejlesztési, minőségellenőrzési, szakértői megbízásai járultak hozzá.

Az ÉM 1969 évtől Építésügyi és Városfejlesztési Minisztériummá alakult, majd 1988 évben megszűnt. Ezt követően a minisztériumi megbízások nagymértékben csökkentek, mert az ÉTI-t részben a Közlekedési, Hírközlési és Vízügyi Minisztérium, részben az Ipar-ügyi Minisztérium fennhatósága alá helyezték s ezek a főhatóságok a magasépítés fejlesztését nem érezték sajátjuknak. A Betontechnológiai tagozatnak egyre fokozottabban kellett – fenntartása érdekében – pályázatokon résztvennie. Néhány éven keresztül a laboratórium főleg a sikeres pályázatok (OMFB, OTKA, ÁKMI, Ipari és Kereskedelmi Minisztérium, Építés-fejlődésért Alapítvány) eredményeképpen szerezte meg működési költségeinek a fedezetét, majd az ÉTI felszámolását követően megalakult a Betonolith K+F Kft., amely részben az Építőipari Minőségvizsgáló Intézet (ÉMI), részben a Magyar Cementipari Szövetség (MCSZ) tulajdonába került. Ettől kezdve fenntartásához az MCSZ hozzájárult.

Volt olyan elfogadott pályázat is 1990-91 évben (Ipari és Kereskedelmi Minisztérium, Építés-fejlődésért Alapítvány), amely lehetővé tette korszerű berendezések vásárlásával (laboratóriumi betonkeverő, automatikus hőérlelő berendezés, számítógép-vezérlésű szilárdságvizsgáló gép) a laboratórium jelentős fejlesztését.

A pályázatok révén elnyert megbízások közül ki kell emelni az OMFB „Mecenatúra pályázaton" való sikeres részvétel eredményeképpen 1991 évben kapott megbízást az új európai betonszabvány honosításából származó feladatok elvégzésére. Annak ellenére, hogy a megbízásból származó kötelezettségeit a Betonolith K+F Kft. maradéktalanul teljesítette, mégis ennek a szerződésnek a megkötése vezetett a Kft. felszámolásához.

Az Európai Szabványosítási Testület (CEN) 1989 évben adta ki a beton tulajdonságaira és készítésére vonatkozó ENV 206 jelű előszabványát, amely gyökeresen megváltoztatta a korábbi alapelveket. Az előszabvány a beton fogalmainak, készítésének, tulajdonságainak és tanúsításának teljesen új szemléletét vezette be azzal, hogy a korábban legfontosabb jellemzőnek, a szilárdságnak a jelentőségét nagymértékben csökkentette és e helyett a megfelelő tartósságot, az elegendő használati élettartamot, a kifogástalan teljesítőképességet követelte meg. Ez korábban nemcsak Magyarországon, hanem Európában is ismeretlen volt és alapvetően megváltoztatta a követelmények kielégítésének a módját. Nem véletlen, hogy ezt az európai szabványt a CEN 104 „Beton Bizottsága" a hetvenes évek elején kezdte megfogalmazni, de első javaslatát csak 1989-ben adta közre.

Úgy tűnt, hogy ez a javaslat végleges szabvány-változatot jelent. Annak érdekében, hogy a hazai beton-ipar ne kerüljön hátrányba az EU országok betoniparához képest, szükségesnek látszott a korábbi magyar szabályzatok gyökeres, sürgős átdolgozása (elsősorban a beton alapanyagait, készítését, követelményeit és minőségellenőrzését szabályozó, az ÉTI Betontechnológiai osztálya által 1975 évben elkészített MI-04.19:1975 Műszaki Irányelvé), kiterjedt, részletes laboratóriumi kísérletekkel megalapozva.

Az OMFB mecenatúra pályázaton az ÉTI Betontechnológiai tagozata ezért vett részt, előirányozva a Műszaki Irányelv átdolgozásához szükséges kísérletek elvégzését és az új előírás elkészítését, 5 éven át tartó laboratóriumi munkát tervbe véve. A pályázatot az OMFB elfogadta, de nem mecénásként kötött szerződést, hanem megkövetelte a négyéves munkára előirányzott 22 millió Forint teljes visszatérítését. Ennek az volt az indoka, hogy a munka eredményeképpen olyan új előírás készül, amelynek eladásából a költségek megtérülnek.

A műszaki előírást a beton és vasbeton készítésére a laboratóriumi kísérletek eredményei alapján 1995 évben elkészítettük és a Magyar Építőanyag Szövetség, valamint a három érdekelt minisztérium egyetértésével (Közlekedési, Hírközlési és Vízügyi, továbbá az Ipari és Kereskedelmi, valamint a Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztériumok) kiadtuk (MÉASZ ME-04.19:1995, Műszaki Előírás beton és vasbeton készítésére, 1. – 22. kötet).

Az előírás eladásából azonban csak a munka költségeinek kb. 50 %-a térült meg, s a további kb. 50 % visszafizetésének a kötelezettsége a jogutód Betonolith K+F Kft.-re, ill. az 1995 évben tulajdonosként belépő ÉMI-re és MCSZ-re hárult. Az ÉMI a visszafizetés fejében 2001 évben leszerelte és elvitte a laboratóriumnak a korábbi pályázatok eredményeképpen 1990-91 évben beszerzett korszerű berendezéseit (keverő, hőérlelő, szilárdságvizsgáló), és a Betonolith K+F Kft. felszámolását kezdeményezte. A magyar betonipar szerencséje, hogy a Magyar Cementipari Szövetség a betontechnológiai laboratórium fenntartása mellett döntött és a laboratóriumot – megmaradt eszközeivel együtt, de csökkentett létszámmal – a CEMKUT K+F Kft. Betonlaboratórimaként átvette és működéséhez – megbízásokkal – jelentős mértékben hozzájárul.

A laboratóriumban 1927 év óta folyó kutatási, kísérleti és vizsgálati tevékenységnek a fentiekben ismertetett finanszírozási története a kutatások fenntartásának jelenlegi helyzetét híven tükrözi. Magyarország azon kevés államok közé tartozik, amelyben az építőipari

kutatás-fejlesztési tevékenység teljes egészében a piaci lehetőségek függvénye, s ennek következtében vegetálásra van ítélve.

Dr. Kausay Tibor megjegyzése: A teljességhez tartozik, hogy az ÉTI Szentendrén tevékenykedő Betontechnológiai Tagozatát (tagozatvezető: dr. Ujhelyi János) 1992. áprilisában a SZIKKTI Betonosztálya (osztályvezető: dr. Kausay Tibor) – laboratóriumának jobb kihasználása céljából – a Budapest, III. Bécsi út 126. alatti telepre befogadta. A különböző jogi személyekhez tartozó két laboratórium négy éven át, 1996. március 31-ig egymás mellett dolgozott.

A SZIKKTI a Betonosztály eszközeinek apportba, illetve bérbe adásával 1994. július 1-én alapította a BETONOLITH K+F Kft-t. Társügyvezetők dr. Kausay Tibor, Dombi József és dr. Szegő József lettek. A BETONOLITH K+F Kft-ben – a SZIKKTI végelszámolását, illetve felszámolását követően – 1995 júliusában a Magyar Cementipari Szövetség lett többségi tulajdonos. Az ÉTI Kft. 1996. április 1-én vált törzstőke emeléssel a BETONOLITH K+F Kft. részévé és vezető erejévé.

2. A KUTATÁS TERÜLETE A KUTATÁSI JELENTÉSEK ÉS VIZSGÁLATI BESZÁMOLÓK ALAPJÁN

A kutatás területét a Laboratórium vizsgálatairól, kísérleteiről és kutatásairól készített jelentések alapján lehet felmérni. A következőkben először ezeknek a Laboratórium irattárában megtalálható fontosabb kutatási jelentéseknek, vizsgálati beszámolóknak a listáját foglalom össze az alábbiakban:

1951:

Popovics S.: Jelentés nagyszilárdságú betonokkal végzett vizsgálatokról (VII.10.)
Kunszt Gy.: Vastapadás autoklávolt betonokban (III.25.)
Kísérletek nyomás alatti gőzöléssel kezelt betonokról (XII.17.)

1952:

Popovics S.: Adalékanyagok kiválasztása nagyszilárdságú betonokhoz (VII.5.)
Összefüggés vizsgálata a beton keménysége és szilárdsága között (IX.3.)
A friss beton konzisztenciájának a vizsgálata (IX.29.)
Kunszt Gy.: Autoklávolt betonok heterogén cementekkel (VII.10.)
Jelentés a szennyvízcsatorna-építés kísérleteiről (XII.19.)
Autoklávolt betonok S-54 cementtel (XII.21.)
Vizsgálatok az 1952 évben gyártott cementekkel (XII.29.)
Ujhelyi J.: A győri kavicslelőhely anyagkészletének minősége (VI.12.)
Kísérletek salakblokkokkal (XII.18.)

1953:

Popovics S.: Betonvizsgálatok kötésgyorsítóval (I.26.)
A cementek vízérzékenységének a vizsgálata (III.28.)
Kísérletek a betonkeverék vízigényének előbecslésére (VI.25.)
Popovics S.-Ujhelyi J.: Az 1952 évi minősítő cementvizsgálatok matematikai-statisztikai vizsgálata (VII.8.)
Az 1953 évi minősítő betonvizsgálatok értékelése (X.7.)
Az 1953 évi cementvizsgálatok értékelése (X.15.)
Ujhelyi J.: Vizsgálatok a földalatti vasút építéséhez alkalmazott habarcsokkal (I.24.)
Az 1952. évi minősítő betonvizsgálatok matematikai-statisztikai vizsgálata (III.10.)
Székely Á.: Javított mészhidrát-habarcsok vizsgálata (III.9.)
A habarcsok konzisztenciájának építéshelyi mérése (III.13.)
Betonadalékanyagok megítélése a térfogatsúly alapján (IX.25.)
Kunszt Gy.: Összefüggés a felületi modulus és a gőzölés hatásfoka között (III.30.)
1953 évben gyártott cementek gőzölhetősége (VI.8.)
Egresi M.: Betonok szilárdulása +20 és +5 °C hőmérsékleten (III.31.)
Tübingszigetelések össze- és kinyomódásának vizsgálata (V.15.)
Tübingszigetelések vízzáróságának vizsgálata (V.15.)
Hazai terméskövek műszaki adatai (XI.3.)
Egresi M. – Szilágyi I.: Betonjavító anyagokkal végzett laboratóriumi vizsgálatok (XII.17.)
Gáspár G. – Soltész G. – Bachman A.: Agresszív talajjal érintkező betonok (XII.30.)

1954:

Ujhelyi J.: Habarcskísérletek a földalatti vasút építéséhez (I.5.)
Minősítő téglavizsgálatok és az eredmények matematikai-statisztikai értékelése (XII.16.)
Kunszt Gy.: Betongőzölési előíráshoz végzett kísérletek eredményei (I.20.)
Vizsgálatok vízzáró betonok készítésére (IV.17.)
Gőzölési kísérletek. Betonszilárdítási eljárások kutatása (X.22.)
Kötésgyorsító és fagygátló szerek betonhoz (XII.5.)
Egresi M.: Az 1953 évi cementek szulfátállósága (IX.13.)
Gáspár G. – Egresi M. – Kunszt Gy.: Az 1953 évi cementek szulfátállóságának a vizsgálata (III.25.)
Szulfátálló és vízzáró betonok készítése (X.20.)
Székely Á.: A mészpuccolán felhasználhatóságának a vizsgálata (X.22.)
Orbán I.: Gyorsított feltárás kidolgozása KOH-val (X.27.)
Popovics S.: Problémák a betontervezés köréből (XI.22.)
Popovics S.– Ujhelyi J.: Az 1953 évi cementvizsgálatok matematikai-statisztikai értékelése (II.20.)
A cementszilárdság szabványos vizsgálati módszereinek matematikai-statisztikai össze-összehasonlítása (IV.1.)
Nogula K.: Kísérletek a betonok utóvibrálással való bedolgozására (XII.4.)

1955:

Kunszt Gy.: A gőzölési diagram alakjának hatása a gőzölt betonra (II.20.)
Műszaki előírás a betonok gyorsgőzölésére (VIII.3.)
Székely Á.: Cementkötés CO_2 atmoszférában (V.9.)
Ujhelyi J.: A mindszentkállai salakos bazalt vizsgálata beton-adalékanyagként (III.30.)
Mésztartalmú kötőanyagok viselkedése habarcsban és betonban (V.15.)
Felhasználási javaslat a hejőcsabai mészpótló anyagok vizsgálata alapján (VI.18.)
Nogula K.: Válaszfallapok készítése téglatörmelék betonból (XII.30.)

1956:

Ujhelyi J.: Az 1954-55 évben forgalomba került bauxitcement betontechnológiai vizsgálata (III.28.)
Agglomerálási kísérletek kazánsalakkal könnyű adalékanyag céljára (IV.16.)
Meszet tartalmazó kötőanyagok vizsgálata habarcsokban és betonokban (V.12.)
Vizsgálatok fehércementtel. Felhasználási javaslat (VII.2.)
Trament kísérletek (VIII.10.)
Andornaktályai tufa felhasználása könnyűbeton készítésére. Vizsgálatok és felhasználási javaslat (IX.29.)
Kunszt Gy.: Előírás a csillebérci limonit és hematit beton előállítására (IV.19.)
Kísérletek az FKI „R" épület 4,2 t/m^3 térfogatsúlyú hidrátbetonjának készítéséhez (VIII.9.)
Kísérletek hematittal az FKI „R" épületének 3,2 t/m^3 térfogatsúlyú nehézbetonjához (IX.12.)
A betonok gyorsgőzölési technológiájának a fejlesztése (X.16.)
Kunszt Gy.–Buday T.: Kísérletek összefoglalása és előírás a 3,2 t/m^3 térfogatsúlyú nehézbeton előállítására (V.9.)
Gáspár G. – Tóth F. – Buday T.: Gyorsgőzölési technológiák ipari bevezetése (XII.31.)

1957:

Ujhelyi J.: Összefoglaló a dunapentelei kohóhabsalakkal végzett vizsgálatokról (I.2.)
A bodrogkeresztúri riolittufa racionális építőipari felhasználásának a kutatása (VI.14.)
A dunaújvárosi kohóhabsalak felhasználása könnyűbeton készítésére (VIII.15.)
A tatabányai Betonelemgyár üzemi tufabeton-kísérleti eredményeinek összefoglalása és értékelése (XII.5.)
Kunszt Gy.: Az újjáépítésre érkezett külföldi cementek felhasználhatóságának a vizsgálata (III.14.)
Kunszt Gy. – Buday T.: Érlelés 120 ^{o}C hőmérsékleten. A lefedés hatása a beton tulajdonságaira (VII.22.)

1958:

Kunszt Gy. – Buday T.: A csillebérci reaktor limonit-beton szerkezeteinek ellenőrzése (V.15.)
Kunszt Gy.: A csillebérci atomrektor limonit-betonjának tervezési, készítési és ellenőrzési vizsgálata (X.15.)
Szilágyi I.: A salaknemesítés helyszíni módszereinek a vizsgálata (X.30.)
Fischer Gy.: Egyszemcsés kohóhabsalak öntöttbetonok. Szigetszentmiklósi építkezés (IX.19.)
Ujhelyi J.: A hazai vulkáni tufák racionális építőipari felhasználásával kapcsolatos kutatások összefoglalása (I.6.)
A pernyekavics beton készítésével kapcsolatos kísérletek összefoglalása (IV.14.)
Cementmentes vakoló és falazó habarcsok alkalmazásának ipari bevezetése (V.31.)
Vizsgálatok a kohóhabsalak litersúlyára és szemszerkezetére (VII.29.)
Egyszemcsés betonok készítése (VII.28.)
Mesterséges adalékanyagok felhasználásával készülő könnyűbetonok technológiájának a kidolgozása (XII.10.)
Armuth A.: Feszített beton vasúti keresztaljak betontechnológiájának kidolgozása I. (XII.12.)

1959:

Buday T.: Szulfitszennylúg származékok plasztifikáló hatásának és gőzölhetőségének a vizsgálata (I.30.)
A selypi nagykezdőszilárdságú cement gőzölhetőségének a vizsgálata (VI.26.)
Betontechnológiai kísérletek a mezőnyékládházi homokos kavics helyettesítésére (XI.19.)
Kísérletek pörgetett csövekkel az 1.sz. Épületelemgyárban (XII.30.)
Armuth A.: Lábatlani Elemgyár feszített beton keresztalj gyártás kialakítása II. (V.25.)
Brocenszky-i 600-as cement betontechnológiai vizsgálata (VI.20.)
Csökkentett cementadagolású betontestek vizsgálata (XI.24.)
Ujhelyi J.: Kohóhabsalakbeton középblokkok vizsgálata és minősítése. Ideiglenes Műszaki Előírás (II.29.)
Könnyűbeton kézi falazóelemek vizsgálata és minősítése. Műszaki Előírás (04.15.)
Kohóhabsalak középblokkgyártás laboratóriumi betontechnológiai vizsgálatai (VII.8.)
Műszaki Előírás kohóhabsalak betonok összetételének a tervezésére, a beton készítésére és minőségének ellenőrzésére (VIII.5.)
Üzemi tapasztalatok a kohóhabsalak beton kézielem- és középblokk-gyártásról, valamint a tufabeton kézielem gyártásról (IX.30.)
Perlitbeton készítésének kutatása (XII.3.)
Ujhelyi J. – Fischer Gy.: Kohóhabsalak betonok készítése. Műszaki Előírás (VIII.4.)

Ujhelyi J. – Christofoli E.: Kézi falazóelemek formai kialakítása és tulajdonságai (X.20.)
Szilágyi I.: Diósgyőri salakbeton téglagyártás üzemi vizsgálata (IX.15.)
Granulált kohósalak cementmentes habarcsok készítésére (XII.30.)
Horváth B.E.: Puccolános habarcsokkal végzett élüzemi vakolási kísérletek (IX.25.)

1960:

Horváth B. E.: Középblokkgyártási kísérletek salgótarjáni kazánsalakkal (I.28.)
Téli vakolási kísérletek eredményei puccolános habarcsokkal (VI.14.)
Kísérleti gyártás eredményei a salgótarjáni kazánsalakbeton középblokkokkal (XI.21.)
Armuth A.: Lábatlani Elemgyár feszített vasúti-alj üzemében alkalmazandó technológia kidolgozása (III.1.)
Pécsi Cementárúipari Vállalat Hird-i bányaidomkő üzemében alkalmazandó betontechnológia (III.27.)
Kísérletek a betonvákuumozás technológiájának a kidolgozására (XII.12.)
Szilágyi I.: Kísérletek a Dunai Vasmű, kohósalak habosító üzem nyershabsalak hűtőtárolója falazatának kialakítására (III.31.)
Vakoló és falazó habarcsok fejlesztése. Pernyével végzett laboratóriumi kísérletek (V.30.)
Előregyártott vakolatok és előre felhordott burkolatok (XII.30.)
Ujhelyi J.: Pernyekavicsbeton készítési technológiájának a kidolgozása (I.3.)
Agyagkavics beton készítési technológiájának a kidolgozása (I.30.)
Összefoglaló a cementtakarékos könnyűbeton közép- és nagyblokkgyártásól (III.1.)
Ideiglenes Műszaki Előírás perlitbeton és perlithabarcs készítésére (III.26.)
Betontechnológiai kutatás Csehszlovákiában és az NDK-ban (V.10.)
Tervjavaslat a korszerű betontechnológia elméleti és gyakorlati kutatására (VI.23.)
Műszaki Előírás agyagkavics betonok készítésére. VIII.12.)
Pernye felhasználása habarcskészítéshez (IX.14.)
Ujhelyi J. – Deák Gy.-né – Horváth B.E.: A hazai középblokkgyártás tapasztalatainak az összefoglalása (IX.20.)
A blokkgyártó üzemek betontechnológiájának kidolgozása (XII.9.)
Buday T.: A friss beton nyírási kísérletei (VII.30.)

1961:

Buday T.: Betontechnológiai vizsgálatok Beocin-i cementtel (II.11.)
Perlitbeton gőzölése a Parafakőgyárban (III.13.)
Optimális érlelési feltételek kidolgozása a perlitpanel-üzem részére (VII.8.)
Könnyűadalékanyagos betonok szilárdulásának a gyorsítása (VII.26.)
Armuth A.: A selypi S-54 cementtel készített betonok gőzölhetősége (II.10.)
A zsolcai épületelemgyárban alkalmazható alapanyagok előzetes vizsgálata (IV.29.)
Műszaki Irányelvek a beton vákuumkezelésére (V.30.)
A 600-as, 500-as, 400-as, 300-as és S-54 cementekkel készített pépek zsugorodása (XII.16.)
Horváth B.E.: Vázbeton elemgyártás technológiájának a kidolgozására vonatkozó kísérletek (VI.27.)
Mázai kazánsalakból készülő középblokkok gyártástechnológiájának kidolgozása ((VII.25.)
Horváth B. E. – Deák Gy.-né: A debreceni habsalakbeton középblokk üzem beüzemelése és gyártásközi ellenőrzése (XII.15.)
Fischer Gy.: Betontechnológiai előírás 9 emeletes kohóhabsalak öntöttbeton házhoz. Árpád-híd, pesti hídfő. (IV.10.)
Kőzúzalékkal készült egyszemcsés beton előállításának a kísérletei (VI.30,)
Szilágyi I.: Azbesztcement csövek szulfátállóságának a vizsgálata (VII.2.)
Ujhelyi J.: Perlitbeton készítési technológiájának a kutatása (IV.15.)
Előkísérletek tűzálló betonok készítésére (VI.10.)
Porózus adalékanyagokkal készített betonok és alkalmazásuk fejlesztése (XI.29.)

1962:

Armuth A.: Vákuumbeton technológia fejlesztésének a kutatása (III.18.)
Munkaterv a betonvibrálás legkedvezőbb feltételeinek a vizsgálatához (V.3.)
A lábatlani Épületelemgyár feszített vasúti-alj üzemében alkalmazandó technológia kidolgozása (V.8.)
Horváth B. E.: Téli vakolások puccolános és perlit habarcsokkal (III.10.)
Cementtakarékos blokkgyártás fejlesztésének a kutatása (V.23.)
Téglazúzalékos beton technológiájának a kidolgozása (VI.2.)
Vázbeton gyártástechnológia kutatása (VII.21.)
Buday T.: A beton plasztifikálói.. Kutatási jelentés (III.22.)
Frissbeton nyírási kísérletek. Kutatási jelentés (IV.22.)
Szilágyi I.: Rugalmas, repedésmentes betonok készítése és az ásványolaj betonra gyakorolt hatása (XI.12.)
Ujhelyi J.: Építési hibák feltárása a perlitbetonok készítésekor (III.10.)

1963:

Buday T.: Műszaki Előírás beton és vasbeton készítésére (szerkesztő) (V.15.)
A betontechnológiára vonatkozó Építőipari Költségvetési Normák átdolgozásának a szempontjai (VII.2)
Módosítási javaslatok az ME-19.63 Műszaki Előíráshoz (XII.21.)
Ujhelyi J.: Látszóbetonok készítése. A CIB W.29. munkabizottság tevékenysége és eredményei (V.29.)
Könnyűadalékanyagos betonok és vasbetonok technológiájának a fejlesztése (IX.15.)
A Kiev-i Építéstudományi Intézet tevékenysége a betontechnológia fejlesztésében (XII.30.)
Ottó Gy.: Kísérletek a betonautoklávolás korszerűsítésére (XII.30.)
Armuth A.: Ideiglenes műszaki előírás transzportbetonok gyártására, szállítására s felhasználására (IV.30.)
Műszaki irányelv a beton vákuumkezelésére (V.12.)
Deák Gy.-né: Statisztikus gyártásközi és végtermék ellenőrzés (VIII.2.)
Horváth B. E.: Csúszózsaluzás alkalmazása Romániában (I.3.)

1964:

Horváth B. E.: Betontechnológiai tapasztalatok a Csepel-Csillagtelep-i agyagkavicsbeton panel-épületeken (III.20.)
Koppány S.: Cementkövek és betonok alakváltozásának a vizsgálata (VII.29.)
Somogyi J.: Bazalt tufaanyag felhasználása tömeges betonadalékanyagként (XI.2.)
A gyöngyössolymosi kőanyag vizsgálata betonkészítéshez (XII.15.)
Ujhelyi J.: Összefoglalás és értékelés a betontechnológiai pályázatra beérkezett pályamunkákról (II.28.)
Beszámoló Jelentés az ÉTI Betontechnológiai osztály 1950-64 között végzett munkájáról (IX.9-)
Tématanulmány a látszóbetonok készítési technológiájának a kutatásáról (XI.15.)
Ravasz J.-né: Granulált kohósalak betonban való alkalmazásának a kutatása (XI.30.)
Deák Gy.-né: Bitumenkötésű perlit készítési technológiájának a kidolgozása (X.28.)
Előregyártott bitumoperlit ipari alkalmazása (XII.31.)
Ottó Gy.: Feszített vasbeton keresztaljak autokláv-érlelésének a fejlesztése (X.10.)
Armuth A. – Ottó Gy.: Beszámoló az előregyártott vasbeton elemek szilárdulásgyorsításának moszkvai konferenciájáról (VIII.1.)
Armuth A.: Betonvizsgálatok különböző cementekkel, katalizátor alkalmazásával (IV.15.)
Műszaki előírás-tervezet a szilárdulásgyorsító vegyszerek alkalmazására (XI.26.)
Fischer Gy.: Teherhordó-hőszigetelő kohóhabsalak beton falszerkezetek készítése csúszózsaluzatban I.-II. rész (V.23.)

1965:

Ujhelyi J.: Műszaki előírás agyagkavicsbetonok készítésre, felhasználására és vizsgálatára (I.12.
Beszámoló a CIB W 29 Látszóbeton Munkabizottság oslói üléséről (X.26.)
Ravasz J.-né: Az adalékanyag alakjának hatása a beton szilárdságára (II.27.)
Horváth B.E.: Tanulmány a FERRON előállítására és ipari alkalmazására (IX.3.)
Vázbeton kéményelem beton- s gyártástechnológiájának a kidolgozása mázai salakra (XI.25.)
Ottó Gy.: A selypi fehér fugacement vizsgálata (IV.16.)
A beton szilárdulásának gyorsítása autoklávolással (V.31.)
Armuth A.: A friss betonkeverék szállítása. Dokumentáció összeállítása (V.22.)
Zárójelentés a beton szilárdulásának gyorsításáról tartott prágai KGST konferenciáról (X.10.)
Szilágyi I.: Habarcsok készítésére és összetételre vonatkozó műszaki előírás fejlesztése (X.16.)
Fischer Gy.: Teherhordó-hőszigetelő kohóhabsalak beton falszerkezetek készítése csúszózsaluzatban III.-IV. rész (V.31.)
Teherhordó-hőszigetelő kohóhabsalak beton falszerkezetek készítése csúszózsaluzatban V.-VI. rész (VIII.31.)
Somogyi J.: A bazalttufa és a lávasalak felhasználása beton adalékanyagként (IX.30.)
Koppány S.: Cementhabarcsok és betonok alakváltozásának a vizsgálata (XII.6.)
Deák Gy.-né: A betonminőség egyenletességére ható tényezők vizsgálata (XII.11.)

1966:

Szilágyi I.: A talajba kerülő betonszerkezetek korróziós vizsgálata (I.22.)
Beszámoló a kispesti Erőmű pernyéjének a vizsgálatáról (VIII.30.)
Ipari bevezetési javaslat a RIMAS csőgyártó üzemének a technológiájára (X.3.)
Összefoglalás a talajba kerülő betonszerkezetek korróziós vizsgálatáról (XI.10.)
Beszámoló a mészhidrát felhasználásának a kísérleteiről (XI.15.)
Somogyi J.: A gyöngyös-solymosi kőanyag betontechnológiai vizsgálata (II.28.)
Kiegészítés a selypi fehér fugacement vizsgálatához (X.19.)
Monostorapáti bazalttufa felhasználása betonadalékanyagként (XII.13.)
Buday T.: A beton- és a vasbetonépítmények kivitelezésére szolgáló műszaki előírás módosító kiegészítése (IV.14.)
Deák Gy.-né: A Gyöngyös-Farkasmáj-i bányából kitermelt andezittufa vizsgálata (VI.20.)
Az UVATERV által tervezett 60 m^3/óra teljesítményű betonkeverő gép vizsgálata (VII.14.) és (IX.5.)
Betonkiegészítő anyagok hatása a betonszilárdság szórására. Kutatási javaslat (X.10.)

Horváth B. E.: A FERRON előállítási lehetőségeink a vizsgálata (VI.27.)
Ujhelyi J.: Kohóhabsalak beton alkalmazása feszített szerkezetekhez (III.30.)
Nyersbeton (látszóbeton) felületek készítési technológiájának a kutatása (V.21.)
A beton felületi kiképzésének a vizsgálata (X.26.)
Ujhelyi J. – Gábory P. – Perényiné Fejes K.: Vázas épületek kitöltő falpaneljainak anyagaira vonatkozó kutatások (IX.3.)
Ujhelyi J. – Tevan Zs.: Könnyűbetonok összetételnek tervezési módszerei (XI.7.)
Ujhelyi J.-né - Ravasz J.-né: Vizsgálatok hő és párahatás elleni védelemre (VI.17.)
Fischer Gy.: Pórusos habarccsal készített könnyűbetonok vizsgálata (III.28.)
Összefoglaló tanulmány a budafoki M1 jelű 11 szintes kísérleti épület betontechnológiájáról (VII.3.)
Armuth A.: A 23. ÁÉV betonüzemében alkalmazandó javító-anyagos betonösszetételek kimunkálása (VIII.13.)
Összefoglaló az MMZ 555 típusú billenőteknős gépkocsi betonszállításra való alkalmasságáról (XII.30.)
Armuth A. – Réthy J.: Összefoglalás az 1.sz. Házgyár csoportzsaluzatában lefolytatott betonozási kísérletekről (XII.12.)

1967:

Buday T.: Optimális érlelési technológia kidolgozás a Gyáli-úti előregyártó üzemben. Ipari bevezetés (III.17.)
Könnyűbetonok optimális érlelési technológiájának a kidolgozása (VIII.28.)
Ujhelyi J.: Kézi falazó elemekhez alkalmazható betonadalékanyagok (III.23.)
Látszóbeton felületképzés a Kacsóh Pongrác úti lakótelep magasházai építésén. Ipari kísérlet (V.3.)
A könnyű adalékanyagos betonok tulajdonságai és összetételük tervezése (VI.30.)
A könnyű adalékanyagos betonok műszaki fejlesztésének a koncepciója (VII.25.)
Nagyméretű látszóbeton homlokzat készítése a Kacsóh Pongrác úti lakótelepen (VIII.22.)
Ujhelyi J. – Somogyi J.: Látszóbeton készítése kötéslassítóval. A beton összedolgozhatósága (II.27.)
Somogyi J.: Mindszentkállai hólyagos bazalt fúrásmintáinak a vizsgálata (I.18.)
Deák Gy.-né: A bitumoperlit bevezetésének ipari tapasztalatai (II.1.)
Armuth A.: A TATRA-típusú betonszállító gépkocsi betontechnológiai vizsgálata (III.16.)
A HIDROBET agitátor gépkocsi betontechnológiai vizsgálata (VII.5.)
A betontechnológia fejlesztése az 1.sz. Házgyárban (XI.15.)
SKODA alvázra szerelt INTERCONSULT betonszállító betontechnológiai vizsgálatáról (XII.5.)
Kutatási jelentés a pernyeadagolású betonok vizsgálatáról (XII.19.)
Különböző konzisztenciájú betonkeverékek szállíthatósága (XII.28.)
Horváth B.E.: Kutatások az elemgyári betonok hajlító-húzó szilárdságának a növelésére (III.18.)
Ravasz J.-né: Kutatási jelentés az 1966 évi cementek betontechnológiai alkalmazásáról (IV.17.)
Szilágyi I.: Mészhidrát felhasználása habarcsok készítéséhez (V.23.)
Székely D.: Összefoglaló a csatornákban elhelyezett betonok és műanyag betonok korróziójának a vizsgálatáról (XI.1.)
Összefoglaló a talajban elhelyezett betonok korróziójának a vizsgálatáról (XI.20.)

1968:

Buday T.: Munkaterv a könnyű adalékanyagos betonba ágyazott acélbetétek korrózióvédelmének a vizsgálatára (I.14.)
Vasbeton szerkezetű irodaépület felülvizsgálatának az eredményei (V.15.)
Zárójelentés a könnyűbetonok hőérlelési feltételeinek a meghatározásáról (VI.3.)
Szabványtervezet cementek gőzölhetőségének a vizsgálatára (VIII.23.)
Gyors módszer a bauxitbeton szerkezetek szilárdságának a helyszíni meghatározásához (XII.28.)
Székely D.: Talajba kerülő betonok korróziós vizsgálata (II.21.)
Horváth B.E.: Nyíltszíni és zárttéri betonelemgyártás technológiájának a fejlesztése (VII.1.)
Jelentés az épületelemgyártás technológiájának a fejlesztéséről (XII.5.)
Somogyi J.: Térburkolat a Bp. I. kerületi Szakmunkásképző Intézetben (IX.22.)
Armuth A.: Lakóépületek betonalapjának a vizsgálata (XI.30.)

1969:

Ujhelyi J.: A bitumoperlit öngyulladásának a feltételei (I.15.)
Tanulmány a cementek hatékonyságának a vizsgálatáról (II. 20.)
Könnyűbeton adalékanyagok gyártásának és felhasználásának a lehetőségei (IV.8.)
Cementek és kiegészítő anyagok követelményértékei (IV.26.)
Könnyűbeton adalékanyagok gyártásának a fejlesztése (VI.16.)
Fischer Gy.: Sejtesített agyagkavics beton készítésének ipari kísérletei (I.29.)
Technológiai utasítás készítése a pécsi panelüzem sejtesített agyagkavics betonjának készítésére (XI.5.)
Buday T.: Kutatási jelentés a könnyűbetonok acélbetéteinek a korrózió elleni védelméről (II.25.)
A szolnoki panelpoligon betontechnológiájának és hőérlelésének a kidolgozása (VII.1.)
Kohóhabsalak öntöttbeton falszerkezetek alakváltozását befolyásoló tényezők (XII.10.)

Szilágyi I.: Felületképző műgyanta kötőanyagú habarcs vizsgálata (III.13.)
Horváth B. E.: Kutatási jelentés kazánsalakbeton nagyblokkok gyártástechnológiájának a kidolgozásáról (IV.27.)
Technológiai utasítás készítése kazánsalak nagyblokkok előállítására (VIII.19.)
Összefoglalás az optimális vibrációs feltételek meghatározásáról (XII.5.)
Székely D.: A csepeli kavicsbánya anyagának alkalmassága transzportbeton készítéséhez (V.3.)
Ravasz J.-né: A szegedi kőolajipari létesítmények alapbetonjának a technológiája (V.6.)
Bálint J.: A kisújszállási duzzasztott agyagkavics betontechnológiai vizsgálata I. (V.12.)
Tufa-pernye beton összetételének vizsgálata az elemgyártási technológia kidolgozására (XI.19.)
Kisújszállási duzzasztott agyagkavics betontechnológiai vizsgálata II. (XII.15.)
Armuth A.: B 280-as gőzölt beton utószilárdulásának a vizsgálata (VI.24.)
Fehércement alkalmazásával készített homlokzatok (VII.4.)
A szolnoki házgyár homlokzati paneljei deformációjának vizsgálata, az okok feltárása (XI.30.)
Kutatási jelentés a kis cementtartalmú betonok szilárdulását befolyásoló tényezőkről (XII.8.)
Armuth A. – Ujhelyi J.: Tanulmány a beton készítésére vonatkozó szabályzatok fejlesztésére (XI.25.)

1970:

Ujhelyi J.: Tanulmány a magyarországi könnyű adalékanyag gyártás helyzetéről s felhasználásáról (I.21.)
A baki Állami Gazdaság tehenészeti és sertéstelep könnyűbeton hőszigetelése (VI.30.)
A nyírmadai Állami gazdaság tehenészeti telepén készített bitumoperlit vizsgálata (VIII.12.)
Öntött kohóhabsalakbetonok minőségét befolyásoló tényezők feltárása (VIII.25.)
Székely D.: A talajba elhelyezett betontestek vizsgálati eredményei (II.5.)
A debreceni Hűtőház hőszigetelésének a vizsgálata (III.30.)
A Bp. Kálvin téri áruház tetőszerkezetének a vizsgálata (IV.14.)
A Fővárosi Kertészeti Vállalat betonszerkezeteinek vizsgálata (VII.9.)
Tevan Zs.: A tari tufa adalékanyag vizsgálata könnyűbeton készítésére (III.12.)
Dokumentáció a pernyekavics beton kíséretekről (V.2.)
Üzemi kísérletek Kalcidurral (VII.5.)
Kutatási jelentés ipari épületek betonpadlóiról (IX.25.)
Kutatási javaslat előregyártott betonpadlók technológiájának a vizsgálatáról (XI.4.)
Deák Gy.-né: A kelenföldi Mosoda tetőfödémén a bitumoperlit készítésének a művezetése (IV.15.)
Armuth A.: Technológiai utasítás a Komárom megyei ÁÉV esztergomi térzsalus építkezéséhez (IV.11.)
Technológiai javaslat a SCAN-FORM zsaluzattal épülő Villányi-úti épület betonozására (IX.30.)
Buday T. – Szőke Gy. – Szilágyi I.: Tanulmány az őrölt égetett mész és a mészhidrát gyártásáról és felhasználásáról (V.25.)
Buday T.: Az Állatorvosi Egyetem (Bp.) Röntgen-épület baritbeton szerkezetei (VI.1.)
Sejtesített kohóhabsalak betonok vizsgálata (IX.30.)
Kúpsüllyedés mérő készülék alkalmasságának a vizsgálata (X.14.)
Kutatási jelentés és javaslat sugárvédő betonok és habarcsok készítéséről (XI.1.)
Ravasz J.-né: Vízzáró beton készítése a csepeli Acélmű Finomhengermű Állomásán (VI.5.)
Lehorgonyzó csavarok duzzadó kiöntő anyagainak a vizsgálata (X.11.)
Fekete Gy.-né: Tanulmány a 26. ÁÉV bitumoperlit előregyártó üzeme fejlesztésére (VII.15.)
Bitumoperlit öngyulladása okainak vizsgálata (Vasipari Kutató Intézet) (X.7.)
Bálint J.: Zárójelentés a kisújszállási duzzasztott agyagkavics betontechnológiai vizsgálatáról (XI.23.)
Horváth B.E.: A zagyvarónai üzem nagyblokk gyártásának betontechnológiája (XII.2.)
A nyékládházi Mezőgazdasági Épületelemgyár betontechnológiája. Próbaüzemelés irányítása (XII.19.)

1971:

Székely D.: Az almásfüzitői Kőolajipari Vállalat pincefalazatának a vizsgálata (I.6.)
A Bp. X., Gyömrői út 136 alatti „A" épület épületszerkezetének a vizsgálata (VII.7.)
Talajba kerülő betonszerkezetek korrózió elleni védelmének vizsgálatára készített próbatestek jellem zői (IX.1.)
Ijjas Gy.: Az újdörögi bányakavics betonadalékanyagkénti felhasználásának a vizsgálata (I.8.)
A TROMAG-szárítóüzem padlóburkolatának a betontechnológiája (III.6.)
A budafoki kísérleti lakótelep D 1-8 jelű épületének repedéstágasság változásai (V.19.)
Buday T.: Technológiai előírás gépi vakolómunkához (I.11.)
Röntgenlaboratórium sugárvédő baritbetonjának a vizsgálata (Kismotor és Gépgyár (II.23.)
Az őrölt égetett mész építőipari bevezetésének műszaki-technológiai megalapozása (IV.9.)
Technológiai utasítás ÉTI-beton készítésére (VI.27.)
A Nyékládháza III. bánya és a Győrújfalu kavicsbánya anyagainak betontechnológiai vizsgálata (VII.1.)
Kutatási jelentés sejtesített kohóhabsalak beton vizsgálatáról (VII.21.)
Sugárvédő blokkok készítése a BME Kísérleti Atomreaktor besugárzó alagútjához (VIII.13.)
Buday T. – Nagy I.: Betonozó konténer vizsgálata (VI.15.)
Armuth A.: Az ÉSZ-51 ágazati szabvány elkészítéséhez szükséges betontechnológiai kísérletek ((I.27.)
Ipari kísérleti jelentés a csepeli transzportbeton üzem technológiájáról (III.17.)

Kutatási Jelentés az alagútzsaluzatos építési mód betonozási technológiájának a fejlesztéséről (XII.20.)
Horváth B.E.: Különböző finomrész tartalmú kohóhabsalak betonok zsugorodása (III: 13.)
Bálint J.: SIOME csövek betontechnológiájának vizsgálata (IV.3.)
Kutatási jelentés a mázai tufa könnyűbeton adalékanyagként való felhasználásának a vizsgálatáról (IV.26.)
Kötésgyorsító alkalmazásának a vizsgálata (V.16.)
A kisújszállási keramzit üzem létesítésének műszaki-gazdasági vizsgálata (XII.5.)
Ujhelyi J.: B200 és B280 minőségű öntött, előregyártott falelemek készítése (VI.11.)
A százhalombattai DH II. jelű, 200m-es kémény téli betonozására technológiai utasítás készítése (XI.18.)
Ujhelyi J. – Kakassy Gy.: Tapasztalatátadás a falazóanyaggyártás fejlesztésére (tégla és könnyűbeton). Kuba. Jelentés (VII.3.)
Ravasz J.-né: Kötéslassító alkalmazásának módja a HÉV Batthyány téri végállomásának a födémszerkezetéhez (VII.11.)
Betonjavító vegyszerek alkalmazás Házgyárakban (VIII.22.)
Tevan Zs.: Tanulmány a betonminőség szórásáról a 3.sz. Házgyárban végzett vizsgálatok alapján (VIII.31.)
A száraz osztályozás minőségi problémái a 3.sz. Házgyárban végzett vizsgálatok alapján (IX.25.)

1972:

Fekete Gy.-né: A perlit duzzasztásnak és a perlit alapú termékek gyártásának a fejlesztése I. (I.8.)
A perlit duzzasztásának és a perlit alapú termékek gyártásának fejlesztése II. (XII.21.)
Ravasz J.-né: A Dywidag rendszerű medencék készítéséhez felhasználható Caltox V2 helyettesíthetőségének a vizsgálata (I.18)
A Verflüssiger WS-60 alkalmazhatóságának a betontechnológiai vizsgálata (II.27.)
Monostorapáti hólyagos bazalt betontechnológiai vizsgálata (VII. 1.)
A beton kiegészítő anyagai, alkalmazásukkal elérhető eredmények, a hazai választék bővítésének igénye (XI.3.)
A Woerman-Dach hazai alkalmazásának ellenőrző vizsgálata (XII.1.)
Betontechnológiai kísérletek Liquidol adalékszerrel (XII.30.)
Ravasz J.-né – Kiss G.: A SIOME és a SENTAB csövek polkrét- és torkrétbetonozással való gyártásának vizsgálata (IX.22.)
Bálint J.: Perlithab granulátum építőipari felhasználhatóságának a vizsgálata (II.4.)
Térzsalus építési mód betontechnológiájának a vizsgálata (III.11.)
A Mac Master Builders cég beton- és habarcsjavító anyagainak vizsgálata (V.4.)
Polipropilén szálas betonok építőipari alkalmazásának vizsgálata (VII.19.)
Armuth A.: Előfeszített hídgerendák gyártástechnológiai vizsgálata (III.5.)
Tanulmány az ME 19-63 Műszaki Előírás módisításáról vagy megszüntetéséről (VII.15.)
Ipari kísérleti jelentés a csepeli transzportbeton üzem betontechnológiájáról (XII.22.)
Ujhelyi J.: Tanulmány a perlit beton készítésekor tapasztalható hibákról (V.7.)
A perlit építőipari felhasználásának a helyzete. Tanulmány (VIII.12.)
A tatabányai díszkolumbárium látszóbetonjának készítési technológiája (X.17.)
A bedolgozott friss beton utókezeléséhez szükséges vízmennyiség számítása (X.30.)
Ujhelyi J. – Armuth A.: Előterjesztés a betontechnológiai szabályzatok átdolgozására (XI.25.)
Palotás L. – Ujhelyi J.: A bulgáriai Bobov-Dol-ban csúszózsaluzással épülő 3.sz. Hűtőtorony ellenőrző vizsgálata (XII.7.)
Tevan Zs.: Tanulmány a betonminőséget befolyásoló tényezőkről a 3.sz. Házgyárban (V.31.)
A százhalombattai K/2 kémény téli betonozásának a technológiája (XII.1.)
Ijjas Gy.: A csepeli Vas- és Acélöntöde Vasöntő I. forgószintje alatti betonfödém vizsgálata (VI.7.)
A monori Építőipari Szövetkezet kavicsbányája anyagának a betontechnológiai vizsgálata (VII.22.)
Buday T.: Őrölt égetett mésszel készült habarcsok beépítési technológiájának a kutatása (VIII.12.)
Az inotai Gázturbinás Csúcserőmű hőálló vasbeton kipufogó csatornái (IX.4.)
Kutatási jelentés az ÉTIBETON ellenőrző vizsgálatáról (XI.13.)

1973:

Buday T.: A Metró-alagutak résfalai felület-megmunkálásának és vízzáróságának a kutatása (I.5.)
A budapesti Falemezművek gőzölő kamrái vasbeton szerkezeteinek a vizsgálata (II.11.)
Betontechnológiai utasítás vízzáró résfal készítésére (IV.26.)
Betontechnológiai utasítás a rákosszentmihályi átemelő telep vasbeton medencéjének a készítésére (V,7,)
Betontechnológiai utasítás a szegedi Biológiai Központ radioaktív sugárzás ellen védő szerkezetei készítésére (VI.9.)
Betontechnológiai utasítás a Bp. Ipari Szerelvények és Gépgyár röntgenlaboratórium szerkezetei készítésére (VI.30.)
Betontechnológiai utasítás öntömörödő betonok készítésére (Dunaújváros, Papírgyár oszlopok) (VII.11.)
Tanulmány vízzáró résfal készítési feltételeinek a vizsgálatáról (VII.31.)

Ravasz J.-né: A Bp. XI., Ménesi út 6. sz. alatti épület vasbetonszerkezeteinek a vizsgálata (III.9.)
Technológiai előírás a Császár-uszoda vasbeton medencéjének a készítésére (IX.5.)
Horváth B.E.: Kutatási jelentés a zagyvarónai kazánsalak betontechnológiai vizsgálatáról (III.15.)
Ujhelyi J.: Final Report about the expert activity in Iceland. Industrial application of perlite. UNIDO jelentés (IV.3.)
Kutatási jelentés az új cementek betontechnológiai vizsgálatáról. A péptelítettség hatása (VI.4.)
Tanulmány a nyersbeton (látszóbeton) felületek készítésére és felhasználására (VII.5.)
Zárójelentés az UNIDO DP/ICE/71/806/11-11/14 sz. programjáról (perlit kísérletek) (X.7.)
Könnyűadalékanyagos betonok vizsgálati módszereinek a kutatása a RILEM keretében (XII.19.)
Fekete Gy.-né: Technológiai utasítás bitumoperlit előregyártására (V.4.)
Armuth A.: Összefoglaló a 2.sz. Házgyárban „Verflüssiger WS" adalékszerrel végzett kísérletekről (VI.24.)
Majer J.: Tanulmány a hulladék anyagok hazai építőipari hasznosításáról (VI.25.)
Budapesti Vegyiművek savcsatorna-rekonstrukció betontechnológiája (VII.29.)
Kohóhabsalak beton tűzállóságának a vizsgálata (Bátaszék, Tégla és Vázkerámia Gyár) (XI.3.)
Székely D.: Talajba kerülő betonszerkezetek korróziós ellenállásának a vizsgálata (VII.16.)
Nemes vakolat készítése hegyeshalmi zúzott homokkal (XII.3.)
Tevan Zs.: Ipari padlóburkolatok kopásálló keménybeton rétegének a vizsgálata (IX.21.)
Tevan Zs. – Szőke Gy.: Beton adalékanyag kiadóállomások értékelése (X.13.)

1974:

Buday T.: Technológiai utasítás szivattyúzott betonkeverékek tervezésére és készítésére (I.14.)
Majer J.: Összefoglalás a FESCO-444 márkajelű hőszigetelő lemezek vizsgálatáról (I.14.)
Ujhelyi J.: Új cementek betontechnológiai vizsgálata (I.27.)
Kutatási jelentés a könnyű dalékanyagos betonok vizsgálatának a módszereiről (III.8.)
Kutatási jelentés a 450-10 és 350-20 pernye portlandcementek betontechnológiai vizsgálatáról (IV.30.)
Ujhelyi J.–Tóth K.: Report of Classification. Investigation of Perlite Deposits in Iceland (izlandi megbízás) (II.16.)
Laboratory and pilot plant tests on Icelandic perlites. Crushing and expanding (izlandi megbízás) (VI.28.)
Ujhelyi J. – Vecsernyés Gy. – Tóth K. – Alliquander E. – Nyitrai I. – Jeckel J.: Industrial uses of perlite in Turkey (török megbízásra végzett kutatás) (XII.20.)
Fekete Gy.-né: A pásztói perlit üzem bitumoperlit készítési technológiája és gyártóberendezései (II.2.)
A nyírtelki P2 duzzasztott perlitből és gipszből készített száraz keverékek vizsgálata (X.10.)
Horváth B. E.: Kutatási Jelentés a kontaktbetonok készítéséről (III.11.)
Székely D.: Talajba kerülő betonszerkezetek korróziós ellenállásának a vizsgálata (V.5.)
Tevan Zs.: Polisztirol beton összetételének és tervezésének, valamint a szilárd beton jellemzőinek a vizsgálata (VI.20.)
Homokegyenértékkel meghatározott agyag-ásvány tartalom hatása a beton jellemzőire (XII.14.)
Ravasz J.-né) Melegbeton előállításának a vizsgálata (IX.7.)
Seprényiné J. V.: Tanulmány a hazai perlit termékek műszaki jellemzőiről és építőipari felhasználásáráról (X.1.)

1975:

Ujhelyi J.: A betontechnológia helyzete és fejlesztése Magyarországon. Az ÉTI szerepe a betontechnológiai kutatásban (I.12.)
Pál K.: Tanulmány a betontechnológia komplex fejlesztésére (III.2.)
Buday T.: Technológiai utasítás adalékszert tartalmazó betonok összetételének a tervezésére és a beton készítésére (III.18.)
Kutatási jelentés hazai anyagokkal készített sugárvédő betonokról (IV.20.)
Részjelentés a paksi Atomerőmű 3,6 t/m^3 testsűrűségű nehézbetonjához alkalmazható vas adalékanyagról (IX.30.)
Radioaktív sugárzás ellen védő betonok hazai adalékanyagokkal (X.23.)
Sugárvédő beton Afganisztánban (X.30.)
Buday T. – Szőke Gy.: Előírás tervezet az őrölt égetett meszet tartalmazó habarcsok készítésére (III.7.)
Buday T. – Horovitz J.: A Plastol NK-3 és a Verflüssiger WS alkalmazhatóságának a vizsgálata a paksi Erőműben
(IX.15.)
Székely D.: A Prosperitás Építőipari Szövetkezet betonüzemének technológiai vizsgálata (V.4.)
Szakvélemény a délpesti szennyvíztisztító telep bővítésekor készítendő vasbeton műtárgyak technológiájáról (VI.11.)
Tevan Zs.: Tanulmány a transzportbeton műszaki előírás készítéséről (VI.16.)
Vizsgálatok a konténeres cementszállítás értékelésére (IX.22.)
Kutatási jelentés a Schwing átkeverő tartállyal készített betonkeverékek egyenletességéről (XII.5.)
Horváth B. E.: Tanulmány szálerősítésű betonokról (VIII.11.)
Seprényiné J. V.: A HILTON szálló vasbeton falszerkezetének a vizsgálata (III.20.)
Az ÉTI szentendrei tartószerkezeti laboratóriuma vasbeton szerkezeteinek a vizsgálata (IX.23.)

1976:

Buday T.: Vizsgálati előírás a sugárvédő beton adalékanyagaként használt acélsörét átvételére (I.5.)
Betontechnológiai utasítás a győri Műszaki Főiskola radiológiai laboratóriuma sugárvédő szerkezeteihez (II.3.)
Laboratóriumi vizsgálatok a paksi Erőmű 3,6 t/m^3 testsűrűségű sugárvédő nehézbetonjával (VIII.12.)
Betontechnológiai utasítás a SZOTE C0-60 Mélyterápiás besugárzó épület sugárvédő betonszerkezeteihez (IX.12.)
Betontechnológiai utasítás a VSZM Zsugorcső üzem elektrongyorsító épülete sugárvédő betonja készítésére (XII.19.)
Buday T. – Bódy E.: A sziderit beton alakváltozási tulajdonságainak a vizsgálata (V.22.)
Tevan Zs. – Csury O. – Kéky Zs.: Tanulmány a magyarországi betonszilárdsági adattár elveire és gyakorlatára (I.16.)
Tevan Zs. – Rostás J.: A betonminőség és az ezt befolyásoló tényezők szórásának a vizsgálata a BVM gyáraiban (VI.21.)
Horovitz J.: Feszített vasbeton medencék készítéséhez használható adalékszerek vizsgálata (II.17.) A Kálvin-téri aluljáró vasbeton födémlemezének vegyszeres betontechnológiája (IV.5.)
Horovitz J. – Reuter O.: Kutatási jelentés a cementek kötési rendellenességeinek a vizsgálatáról (V.5.)
Ujhelyi J.: Javaslat a BP. V., Felszabadulás-téri aluljáró födémének a kivitelezésére (II.15.)
Műszaki Előírás beton és vasbeton szerkezetek készítésére. ME-19.76 I.kötet (III.19.)
Perlit alapú tűzvédő burkolatok laboratóriumi kutatása. Javaslat (IX.30.)
Kutatási javaslat az anyag-és energiatakarékosság betontechnológiai kutatási programjára (XI.5.)
Ujhelyi J. – Révay M.-né: Az S-100 350 portlandcement betontechnológiai vizsgálata (VIII.31.)
Ujhelyi J. – Fekete Gy,-né: Kutatási jelentés préselt perlitbetonok laboratóriumi vizsgálatáról (VI.15.)
Horváth B.E.: Tanulmány és irodalmi összefoglaló szálerősítésű betonokról (IV.8.)
Fekete Gy.-né: A nyírtelki perlitből mészhidráttal és cementtel készített habarcskeverékek vizsgálata (VI.22.)

1977:

Pál K.: Előkészítő tanulmány a melegbeton hazai bevezetéséhez szükséges vizsgálatokról (I.16.)
A szegedi Házgyár betonérlelési technológiájának beállítása (IV.21.)
Hasznosítási tanulmány a melegbeton technológia hazai bevezetésére (VII.12.)
Horovitz J.: Kutatási jelentés a Sulfodur vizsgálatáról (III.9.)
Szuperplasztifikátorok összehasonító vizsgálata (IV.13.)
Kutatási jelentés a 23. sz. ÁÉV transzportbeton üzemében alkalmazható vegyszeres betonkészítésről (IX.2.)
A folyósító adalékszerek anyag- és energiatakarékossági hatásai. Tanulmány (XI.28.)
Ujhelyi J.: A beton s vasbeton készítése irányelvei II. kötetének (ÉSZKMI 04.19.) szövegtervezete (III.14.)
Tanulmány a Betontechnológiai Fejlesztési Tanács megalakítására (VI.1.)
A szabványos értékelési módszerek fejlesztése a betonfajták eloszlási viszonyainak a figyelembe vételével (IX.22.)
Előregyártott perlitbetonok. Tanulmány (XI.1.)
Könnyűbeton tartószerkezetek gazdaságossága. Tanulmány (XI.30.)
Horváth B. E.: Perlit alapú tűzvédő burkolatok (IV.25.)
Azbesztszál erősítésű sajtolt perlit beton készítési technológiája tűzvédő burkolatokhoz (IX.30.)
Buday T.: Betontechnológiai utasítás a BVG 2.sz. Gyáregység Röntgenlaboratórium sugárvédő betonjára (V.2.)
Betontechnológiai utasítás a Bp. Ringló-úti 4500 m^3-es víztorony betonszerkezeteinek a készítésére (VI.11.)
Kutatási jelentés a sugárvédő betonok alkotó anyagainak a vizsgálatáról és kiválasztásáról (XI.2.)
A sugárvédelemre használt cementek és bórtartalmú, ill. vas adalékanyagok vizsgálata (XI.29.)
Ravasz J.-né: Kutatási jelentés a TREMIX berendezéssel végzett laboratóriumi vizsgálatokról (VII.5.)

1978:

Pál K.: Betontechnológiai utasíts a bicskei Hőerőmű hűtőtorony betonmedencéjének a készítésére (I.5.)
Kutatási jelentés a melegbeton technológia evezetésére vonatkozó vizsgálatokról a BULAV üzemeiben (II.16.)
Jelentés a melegbeton technológia ipari bevezetési kísérleteiről (III.7.)
Hazai cementek alkalmasságának a vizsgálata gőzekeverésű betonokhoz (XII.6.)
Tevan Zs.: Ipari kísérleti jelentés az optimális betonösszetételek meghatározásáról (I.12.)
Buday T.: Betontechnológiai utasítás a paksi Atomerőmű turbinaalapjai B 400-as vb. szerkezeteinek a készítésére (III.2.)
Betontechnológiai utasítás vegyszeres öntöttbeton készítésére a paksi Atomerőmű falcelláihoz (VI.19.)
Betontechnológiai utasítás a az északpesti szennyvíztisztító telep vízzáró és fagyálló betonjai készítésére (VI.30.)

Betonkészítési előírás az ÉVITERV-Fémmunkás irodaház óvóhelye gázzáró betonszerkezeteihez (VIII.7.)
Buday T. – Ravasz J.-né: Pernyetartalmú habarcsok ipari bevezetését elősegítő kutatási jelentés (I.20.)
Horovitz J.: B 600-as betonból készített vasúti aljak vegyszeres gyártástechnológiája (V. 13.)
Horovitz J. – Németh G.-né: Vegyszeres betontechnológia kidolgozása a 26.ÁÉV transzportbeton üzemében (I.21.)
Üzemi kísérletek a DARACEM folyósítóval a 43.ÁÉV házgyáraiban (II.26.)
Vegyszeres betontechnológia bevezetése a 21. ÁÉV üzemeiben (X.13.)
Németh G.-né: Agyag- és energiatakarékosság. Polimerizált betonok (XI.1.)
Horváth B.E.: A kabai útalapbeton technológiája (II.11.)
Ravasz J.-né: Házgyári elemek gyártása B 200 betonból (IV.16.)
Betontechnológiai utasítás az Autóipari Kutatóintézet izotóplaboratórium sugárvédő betonszerkezeteihez (X.12.)
Kalmár I.-né: Szárazhabarcs építőipari bevezetésének a kutatása (XII.2.)
Ujhelyi J.: A betonszilárdság szórásának a szilárdság valószínűségi eloszlásának a vizsgálata (XII.3.)
Tanulmány zsugorodásmentes betonok készítéséről (XII.21.)

1979:

Horovitz J. – Németh G.-né: Az adalékszeres betontechnológia alkalmazási lehetőségeinek a vizsgálata (I.4.)
Horovitz J.: Technológiai utasítás a Bicskei Hőerőmű betonszerkezeteinek adalékszeres készítésére (III.17.)
ISOLA BV képlékenyítő adalékszer betontechnológiai vizsgálata (VIII.22.)
Buday T.: Betontechnológia utasítás a Bp. Weil Emil kórház sugárterápiás központja sugárvédő szerkezeteihez (II.9.)
Technológiai utasítás a BÁCSÉP kecskeméti Házgyár radiológiai laboratóriuma sugárvédő betonjához (II.15.)
Technológiai utasítás sziderit beton készítésére (IV.26.)
Technológiai utasítás a Hetnyi-kórház sugárvédő baritbeton szerkezeteinek a készítésére (V.11.)
Technológiai utasítás szerpentin és vas-szerpentin betonkeverékek készítésére (XI.5.)
Pál K.: Betontechnológiai utasítás a bicskei Hőerőmű hűtőtorony építésére (II,12.)
Nagyszilárdságú betonok ipari alkalmazásának a bevezetése (VII.23.)
A betontechnológia korszerűsítésére végzett vizsgálatok a 43.ÁÉV 1.sz. Házgyárában (XI.14.)
Betonok mesterséges szilárdulás gyorsításának a fejlesztése. Kutatási jelentés (XII.18.)
Pál K. – Németh G.-né: Betontechnológiai utasítás a Szeged-Rókus 4000 m^3-es víztorony alaptestjei építésére (VII.13.)
Németh G.-né: Szilárdulás gyorsító vegyszerek alkalmazhatóságának a vizsgálata elemgyártásban (III.9.)
Kutatási jelentés kötéskésleltető adalékszerek betontechnológiai vizsgálatáról (VI.18.)
Kutatási jelentés polimerizált betonok vizsgálatáról (XII.4.)
Ujhelyi J.: Kéményelemek betonja alakváltozásának a vizsgálata (III.11.)
Perlitbeton és perlithabarcs termékek szabványosításának vizsgálata (V.5.)
A betonok szilárdsági szórásának és a szilárdság valószínűségi eloszlásának a vizsgálata (V.21.)
Kutatási jelentés a pórusok betonszilárdságra gyakorolt hatásáról (VII.12.)
Forgalomban lévő cementek betontechnológiai vizsgálata a műszaki előírás korszerűsítéséhez (X.1.)
Ravasz J.-né: Kutatási jelentés felületképző betonok összetételének a meghatározására (VII.4.)
Betontechnológiai utasítás a Stadion-szálló födémszerkezeteinek vákuumkezelésére (X.31.)
Kutatási jelentés a hideg időben végzett betonozás fejlesztésére (XI.30.)
Tevan Zs. – Révay M.-né: A Békésmegyei ÁÉV új betongyárának betontechnológiai minősítése (VIII.13.)
Majer J.: Kutatási jelentés pernye-gázbeton alkalmazásáról tömedékeléshez (IX.15.)

1980:

Horovitz J.: A 26. ÁÉV adalékszeres betontechnológiájának a felülvizsgálata (I.31.)
Kutatási jelentés bolgár adalékszerek betontechnológiai vizsgálatáról (II.25.)
Horovitz J. – Németh G.-né: Adalékszeres betontechnológia kidolgozása a FÖLDGÉP vállalat részére (IX.6.)
Pál K.: Kutatási jelentés a nagyszilárdságú betonok ipari alkalmazásáról (I.31.)
Zárójelentés a BLV üzemeiben bevezetett melegbeton technológia tapasztalatairól (II.20.)
A betontechnológia korszerűsítése a 43. ÁÉV 1.sz. Házgyárában (VII.4.)
Kutatási jelentés a betonok mesterséges szilárdulás-gyorsításának a fejlesztéséről (X.16.)
Buday T.: Technológiai utasítás az LKM Acélmű óvóhelye gázzáró betonszerkezeteinek a készítésére (II.11.)
Technológiai utasítás a Pécs-üszögi 10000 m^3-es tározó vízzáró betonszerkezeteinek az építéséhez (V.19.)
Technológiai utasítás a Ferihegy, Műszaki Bázis röntgenfelvételező épületének baritbetonja készítésére (IX.8.)
Kutatási jelentés: dunaújvárosi hematit kiváltása brazil hematittal (X.22.)
Turda T.: Kutatási jelentés adalékanyagok neutronmoderációs nedvességtartalmának a méréséről (III.21.)
Tevan Zs.: A betonszilárdsági adattár 1979 évi adatainak az értékelése (V.11.)
Révay M.-né: Betonösszetételek meghatározása és a javasolt minőség-ellenőrzés az új keverőtelepekre (VIII.25.)

Ravasz J.-né: Kutatási jelentés a hideg időben végzett betonkészítés fejlesztéséről (X.10.)
Németh G.-né: Kutatási jelentés az adalékszeres beton- és habarcskészítés korszerűsítéséről (X.13.)
Ujhelyi J.: A betontechnológia hazai műszaki fejlesztési eredményeinek a feldolgozása és értékelése (IV.30.)
Perlite and its industrial uses (UNIDO Seminar, Plzen) (V.21.)
Progress Report: Preparing large scale activity for establishing perlite industry in Mongolia (UNIDO megbízás) (X.9.)
Ujhelyi J. – Ravasz J.-né – Szegő J.: Hőszigetelő habarcsok és vakolatok fejlesztése (XI.20.)

1981:

Németh G.-né: Kutatási-felesztési feladatok az adalékszer gyártás területén (I.6.)
Inhibitoros szilárdulásgyorsító adalékszerek betontechnológiai vizsgálata (X.7.)
A KEMIKÁL Építőanyagipari Vállalat beton adalékszereinek ellenőrző vizsgálata (XII.2.)
Adalékszeres betontechnológiák szivattyúzható és transzport betonokhoz (XII.29.)
Németh G.-né – Szegő J.: Villamosan szigetelő betonok kutatása (I.31.)
Betontechnológiai anyag- és energiatakarékosság. Polimerizált betonok (XI.5.)
Szegő J.: Sérült, károsodott beton, vasbeton és műkő szerkezetek javítási technológiájának a fejlesztése (XII.3.)
Szegő J. – Márki J.: Gazdaságos betontechnológiák alkalmazása az épületfenntartási tevékenységben (XII.22.)
Buday T.: A kéregbeton falelemek készítésének vizsgálata (III.30.)
Az orosz acélsörét kiváltására számbavehető hazai vas betonadalékanyagok vizsgálata (V.27.)
Betontechnológiai utasítás a paksi Atomerőmű 3,6 t/m^3 száraz testsűrűségű nehézbeton szerkezeteire (VI.16.)
A Bp. Lakatos utcai 3000 m^3-es víztorony modellkísérletei (VIII.27.)
Ravasz J.-né: Hideg időben végzett betonozás technológiájának a fejlesztése (II.14.)
Olajálló beton készítése a szentendrei ÁFOR kút építéséhez (IV.5.)
Vizsgálatok vastagbevonatok alapfelületeként késztheto betonokkal (IV.30.)
Az MGH Marketingház vákuumtechnológiával készített födémeinek a vizsgálata (VI.3.)
Betonösszetételek kidolgozása SIOME aknákhoz (XII.11.)
Tevan Zs.: A betonszilárdsági adattár 1980 évi adatainak értékelése (V.15.)
Ujhelyi J.: A perlit alapú termékszerkezet korszerűsítése (VII.1.)
Terminal Report of assistance to the development of the Building Materials Industry (UNIDO, Damascus) (X.10.)
Final report of application of Syrien lightweight aggregates for making masonary units (UNIDO, Damascus) (X.20.)
Vizsgálatok a betonok tömöríthetőségére (XI.14.)
A cementpép- és a levegőtartalom hatása a beton tulajdonságaira. Az adalékanyag kiválasztása (XI.30.)
Ujhelyi J.–Révay M.-né: Összefoglalás a kitéti program keretében készített betonpróbatestek vizsgálatáról (X.30.)
Valtiny D.: Adalékszeres betontechnológia (VIII.4.)
A DARACEM folyósító adalékszer helyettesíthetőségének a vizsgálata (IX.5.)
Valtiny D. – Horovitz J.: Adalékszeres technológia a DÉLVIÉP és az Északmagyarországi ÁÉV részére (XII.17.)
Pál K.: Betonvizsgálatok a GANZ Villamossági Művek Készülékgyárában (IV.11.)
Betontechnológiai utasítás a Szeged-Rókus 4000 m^3-es víztorony építésére (IX.2.)
A betonok mesterséges szilárdulásgyorsítása energiatakarékos módszereinek a fejlesztése (XI.27.)

1982:

Buday T.: Betontechnológiai utasítás az Országos Onkológiai Intézet diagnosztikai tömbjének sugárvédő betonjához (I.31.)
Betontechnológiai utasítás a pécsi Orvostudományi Egyetem besugárzó bunkere sugárvédő betonjához (V.12.)
Betontechnológiai utasítás résfalakat összefogó alaplemez készítésére 8DVM kokszolómű) (V.28.)
Valtiny D.: Kohócsarnok sérült vasbetonszerkezetei kijavításának a módszerei (II.3.)
Csúszózsaluzattal készülő gabonasilók adalékszeres betonozása (IV.12.)
Kopásálló és szivattyúzható betonok összetétele a dunaújvárosi Kokszolómű széntornyaihoz (XI.30.)
Kutatási jelentés betonadalékszerek korszerű hatásvizsgálatáról (XII.4.)
Ravasz J.-né: Tanulmány a pernye építőipari felhasználására (III.1.)
Hideg időben végzett betonkészítés fejlesztése (V.11.)
Ipari kísérleti jelentés alagútzsalus betonozásról (Bp. Tavasz u.) (IX.23.)
Tanulmány a bontott betonok gyári törmelékinek újrahasznosításról (XI.14.
Ujhelyi J.: Economic cooperation among developing countries on non-metallic materials. UNIDO Workshop, Belgrade (IV.14.)
A kitéti program keretében S-100 cementtel készített betonok adatainak összefoglalása (X.29.)
Kutatási jelentés az S-100 cement betontechnológiai vizsgálatáról (XI.22.)
Kutatási jelentés a péptelítettség és a levegőtartalom hatásáról a beton tulajdonságaira (XII.18.)
Ujhelyi J. – Révay M.-né: Tanulmány az építőipari laboratóriumok eszközeinek és módszereinek a fejlesztésére (X.5.)

Ujhelyi J. – Pál K. – Ravasz J.-né: A betontechnológiai anyag- és energiatakarékosság lehetőségei (XII.22.)
Németh G.-né: Hazai folyósító adalékszerek betontechnológiai kutatása (V.21.)
Felületi párazáró anyagok alkalmazási lehetőségeinek a kutatása (VI.7.)
Kutatási jelentés a tőkés import kiváltására hazai adalékszerekkel (XI.10.)
Kutatási jelentés hazai inhibitorok vizsgálatáról (XI.30.)
Németh G.-né – Szegő J.: Soványbeton alapok előállítási lehetőségeinek a vizsgálata (IV.16.)
Tevan Zs.: A betonminőség összehasonlító értékelése az új és a régi minősítési módszerek szerint (VII.8.)
Szegő J.: Kutatási jelentés a polimerrel módosított betonok készítéséről (IX.20.)
Kutatási jelentés a sérült beton, kő és műkő szerkezetek korszerű javításáról (XII.1.)
Pál K.: Termoszmódszer alkalmazása alagútzsaluzatos építkezéshez (X.1.)
Betonérlelést alkalmazó munkahelyek adatainak összegyűjtése és feldolgozása (X.30.)

1983:

Ujhelyi J.: Összefoglaló javaslat a betontechnológiai anyag- és energiatakarékosság fejlesztésének innovációs igényeire (II.1.)
Kutatási jelentés adalékanyagok pépigényének a vizsgálatáról (III.12.)
Az anyag- és energiatakarékosság elve és érvényesülése a betonok készítésekor (VII.9.)
Kutatási jelentés a BVM-TIP vb. szerkezetekhez használható zsugorodásmentes betonkiöntésről (XII.4.)
Ujhelyi J. – Révay M.-né: Tanulmány a B.T.T. vállalati minőségvizsgáló laboratóriumainak a felülvizsgálatáról (VI 21.)
Kutatási jelentés az osztályozott adalékanyag ellátás javítására (VIII.3.)
A gyártásközi minőség-ellenőrzés színvonalának a javítása (X.4.)
Valtiny D.: Technológiai utasítás a VIZÉP betonüzem adalékszeres technológiájára (III.19.)
Kísérletek papíripari melléktermékek és segédanyagok betontechnológiai hasznosítására (VI.14.)
Kutatási jelentés víz alatti betonozásra alkalmas betonkeverékek összetételéről (IX.1.)
Kutatási jelentés adalékszerek fejlesztéséről. Képlékenyítők, folyósítók, szilárdulás gyorsítók (XI.17.)
Ravasz J.-né: Technológiai utasítás vízzáró beton készítésére vb. szerelvényekhez (IV.30.)
Pál K.: Gyors cementvizsgálati módszerek értékelése (SZIKKTI, DUTÉP) (VIII.12.)
Betontechnológiai anyag- és energiatakarékosság. A cementek vízérzékenységének a vizsgálata (XI.22.)
Kutatási jelentés az ÉTI-termoszmódszerrel elért eredményekről (XI.30.)
Pál K. – Szegő J.: Technológiai utasítás távfűtési aknák korrózióvédelmére és javítására (IV.30.)
Németh G.-né: Kutatási jelentés párazáró anyagok összehasonlító vizsgálatáról (X.3.)
Szegő J.: Heterogén cementek hőmérsékletérzékenységének és fagyállóságának a vizsgálata (XII.15.)
Tevan Zs. – Révay M.-né – Márki J.: Félcsepp alakú betonszállító jármű betontechnológiai vizsgálata (V.3.)
Buday T.: Technológiai utasítás a győri Onkológiai Decentrum elektrongyorsítójának sugárvédő betonjára (VIII.31.)
Technológiai utasítás az Országos Onkológiai Intézet 10/P lineáris gyorsítójának sugárvédő betonjára (X.11.)

1984:

Valtiny D. – Németh G.-né: Adalékszerek betontechnológiai hatásvizsgálata. Kutatási zárójelentés (I.12.)
Zárójelentés adalékszerek kutatásáról, fejlesztéséről és betontechnológiai hatásvizs-gálatáról (XII.3.)
Toma Murad: Kutatási jelentés agyagkavics betonok tulajdonságainak a vizsgálatáról (III.5.)
Agyagkavics beton rugalmassági modulusának az ellenőrzése (VI.15.)
Ujhelyi J.: Segédlet készítése cementtakarékos betonösszetételek kiválasztására (III.9.)
Útmutató a beton és vasbeton szerkezetek, valamint a habarcsok cementtakarékos készítésére (III.26.)
Összefoglaló értékelés a Nyergesújfalu, Esze T. u. 3. alatti öntöttbetonház injektálásos megerősítéséről (IV.12.)
0,5 m^3-es szállítókonténer betontechnológiai vizsgálata. Kutatási jelentés (V. 12.)
Beszámoló a cementtakarékossági rendelet kapcsán 1984. I.félévben elért eredményekről (VIII.10.)
Ujhelyi J. – Reuss A. – Révay M.-né: Az 1032/82 (VII.1.) Mt határozat végrehajtásának eredményei 1984. I.félév (VIII.1.)
Ujhelyi J. – Révay M.-né: Gyártásközi minőségellenőrzési utasítás a BTT tagvállalatai részére (X.30.)
Németh G.-né: A Plastofrost fagyásgátló adalékszer betontechnológiai vizsgálata (IV.9.)
A Barra-Fluid és a Barra-55 betontechnológiai hatásvizsgálata (VII.6.)
Buday T.: Betontechnológiai utasítás a szolnoki 3000 m^3-es víztorony készítésére (V.7.)
Utasítás a műanyagcsöves padlófűtés úsztatott cementesztrich-rétegének a készítésére (VI.20.)
Betontechnológiai utasítás a MÉM röntgenfelvételező sugárvédő betonszerkezeteihez (IX.11.)
Pernye felhasználása szárazhabarcs keverékekben (XII.12.)
Tevan Zs. – Révay M.-né – Márki J.: Ipari betontechnológiai kísérlet félcsepp alakú betonszállító járművel (V.13.)
Valtiny D.: Vandex és Betonplast termékek alkalmazástechnikai jellemzőinek a vizsgálata (V.4.)

Glukosil adalékszer betontechnológiai hatásvizsgálata (V.16.)
Víz alatti betonozás félüzemi szintű modellkísérleteinek az eredményei (X.3.)
Az ÖFAG kísérleti vízszigetelő porhabarcsainak vízzárósági vizsgálata (XI.1.)
Kutatási jelentés szálerősítésű és polimertartalmú betonok vizsgálatáról (XI.25.)

Valtiny D. – Szegő J.: Kutatási jelentés szálerősítésű és polimer tartalmú betonok vizsgálatáról (XI.30.)

Szegő J.: Heterogén cementek fagyállóságának és hőmérséklet-érzékenységének a vizsgálata. Kutatási jelentés (VII.11.)
Energiatakarékos betonkészítés 250 kspc 60 jelű cementtel. Kutatási jelentés (XII.8.)
A cementellátás és a cementfelhasználás fejlesztése. Tanulmány (XII.22.)

Reuss A.: Kutatási jelentés a gyártásközi minőség-ellenőrzés fejlesztéséről (XI.2.)
A betonkészítés technikai színvonalának a javítása. Tanulmány (XI.28.)

1985:

Reuss A.: Kohóhabsalak öntöttbeton épületek megerősítésének a kísérleti vizsgálata (I.12.)
A szentendrei Szennyvíztisztító telep zárófödéme betonjának a vizsgálata (III.28.)
A békéscsabai vázkerámia-betétes panelok kéregbeton mintáinak a szilárdságvizsgálata (IV.5.)
Anyag- és energiatakarékosság. Az adalékanyag ellátás javítása (XI.30.)

Révay M.-né: Kísérleti összefoglaló a mikromész összehasonlító vizsgálatáról (I.18.)

Ujhelyi J.: Az MI-04.19:1985 1.-5. fejezetének szövegtervezete (III.2.)
Az MI 04.19:1985 6.-8. fejezeteinek szövegtervezete (VI.5.)

Ujhelyi J. – Révay M.-né: Tanulmány az 1032/82 Mt. Határozat cementtakarékossági előírásának 1984 évi eredményeiről (III.11.)

Valtiny D.: Adalékszert tartalmazó cementpépek reológiai jellemzőinek a meghatározása (III.8.)
Adalékszerek IR színképeinek a gyűjteménye (VI.11.)
Ipari melléktermékek betontechnológiai hatásvizsgálata. Kutatási jelentés (VII.21.)

Valtiny D. – Németh G.-né: Zárójelentés az adalékszerek betontechnológiai hatásvizsgálatáról (XI.30.)

Szegő J.: Ipari épületek fenntartásának az általános áttekintése (V.31.)
Közepes nagyságú iparteleр fenntartási helyzetképe (VI.20.)
Esettanulmány kiegészítése közepes nagyságú ipartelep fenntartási helyzetképéhez (X.2.)
Polimerrel kötött betonok ipari hasznosítási lehetőségének az elemzése, műszaki-gazdasági értékelése (XI.30.)

Szegő J. – Valtiny D.: Részjelentés a polimer diszperziók és szálanyagok laboratóriumi vizsgálatáról (XI.11.)

Németh G.-né: FLH-COMPOUND és VISCOMENT adalékszer betontechnológiai vizsgálata (VI.25.)
A PLASTOL adalékszer betontechnológiai hatásvizsgálata (XII.2.)

Buday T.: Betontechnológiai feltételek a szilárdságon kívül egyéb követelményeket is kielégítő betonokra (VII.14.)
Betontechnológiai utasítás az Országos Onkológiai Intézet gyorsító helyiségének sugárvédő betonjára (X.21.)

1986:

Ujhelyi J. – Buday T.: Vízépítőipari Tröszt. Technológiai előírás beton és vasbeton építési munkákra (II.2.)

Ujhelyi J.: Jelentés a betonösszetétel tervezésének új eljárásáról (III.11.)
Összefoglalás a beton nyomószilárdságának előbecsléséhez szükséges algoritmusokról (VI.5.)
Tanulmány a marokkói perlit exportcélú kiaknázásáról (VI.16.)
Tanulmány az agyagkavics betonok hazai felhasználásának a lehetőségeiről (XI.8.)

Ujhelyi J. – Madaras G.: A betonok teljes feszültség-alakváltozási diagramjának a meghatározása (IX.24.)

Buday T.: Előzetes javaslat a Dunakiliti-i duzzasztómű betontechnológiájára (IV.5.)
Dunakiliti, duzzasztómű. A helyi homokos kavics jellemzői, valamint az ajánlott adalékszerek (V.18.)

Valtiny D.: Fémüveg szálerősítés építőipari felhasználásának a lehetőségei (IV.11.)
A cement nedves őrlésének habarcstechnológiai hatásvizsgálata (VI.21.)

Szegő J.: A cement szemeloszlás betontechnológiai hatásának a vizsgálata (IV.20.)
A cementkő és a beton teljesítő képességét befolyásoló tényezők vizsgálata (XI.30.)

Reuss A.: A betongyárak fejlesztése a lakossági betonellátás érdekében (V.20.)

Reuss A. – Márki J.: Javaslatok és ajánlások a betongyárak korszerűsítésére (VI.19.)

Németh G.-né: Betonadalékszerek fejlesztésének betontechnológiai vizsgálatai (V.21.)

1987:

Ujhelyi J.: Tanulmány a betontechnológia fejlesztésének aktuális szempontjairól (I.28.)
Renseignment complementaires au dossier béton No XVI. Sidi-Moussa (TESCO-megbízás, Algéria) (II.5.)
Technológiai utasítás a Bp. Száva utcai híradástechnikai torony építéséhez (II.15.)
Az 1032/82. Mt. sz. határozat cementtakarékossági előírásainak a végrehajtása 1986 évben (IV.6.)
Tanulmány a BKV aljaknál fellépő korrózió okairól. A megelőzés lehetőségei (IX.18.)
Agresszív hatásnak ellenálló betonok kutatása a kitéti program keretében (XI.12.)
Betonösszetételek felülvizsgálata a Mélyépítő V. Északpesti betongyárában (XI.30.)

Ujhelyi J. – Bodó L.: Betonok és betonacélok ágazati fejlesztési programja a VII. ötéves tervben (V.11.)
Ujhelyi J. – Buday T.: Tervezési segédlet különleges követelményeket kielégítő beton és vasbeton szerkezetekhez (XII.16.)
Buday T.: Minőségellenőrzési utasítás a Dunakiliti-i duzzasztómű vízépítési betonszerkezeteinek a készítésére (II.4.)
Technológiai utasítás a Dunakiliti-i duzzasztómű különleges rendeltetésű vízépítési szerkezeteihez (IV.10.)
Technológiai utasítás sugárvédő barithabarcs készítésére
Sugárvédő betonok készítési technológiájának és a betontechnológiai utasításainak a fejlesztése (V.21.)
Reuss A.: Betongyárak korszerűsítése, a betontechnológia fejlesztése (II.21.)
Javaslat a 26. ÁÉV transzportbeton üzeme minőségellenőrzési utasítására (VI.5.)
Technológiai utasítás beton pályaburkolat készítésére (IV. burkolatcsoport) (IX.19.)
Németh G.-né: Betonadalékszerek kutatás-fejlesztése. Betontechnológiai hatásvizsgálatok (V.11.)
Por alakú tömítő adalékszerek betontechnológiai hatásvizsgálata (X.12.)
Hazai betonadalékszerek kifejlesztése, főleg ipari melléktermékekből és hulladék anyagokból (X.30.)
Zárójelentés az adalékszerek kutatás-fejlesztési munkáiról (XII.18.)
Szegő J.: A dezagregátor betontechnológiai alkalmazhatóságának a vizsgálata (V.25.)

1988:

Ujhelyi J.: Kutatási jelentés az ISOLA anyagok vizsgálatáról (I.12.)
Tanulmány a beton szövetszerkezetének az optimalizálásáról. I.kötet: Nyomószilárdság (XII.5.)
Ujhelyi J. - Armuth A. - Barkóczy A. - Bodó L. - Buday T. - Fenyves H. - Máté Gy. - Németh G.-né - Papp J. - Reuss A. - Udvardy J.: A beton és vasbeton technológiák színvonalának áttekintése (V.20.)
Ujhelyi J. – Reuss A.: A bodrogkeresztúri tufabeton kéményelemek vizsgálata (XII.12.)
Reuss A.: Kutatási jelentés a Barraplast 75 L inhibitoros változatának betontechnológiai vizsgálatáról (I.21.)
Németh G.-né: Kutatási jelentés az adalékszerek korszerűsítéséről (VI.2.)
Galvánszennyvíz hasznosítása beton készítéséhez (XI.22.)
Németh G.-né – Reuss A.: Ipari melléktermékekből és hulladék anyagokból készíthető adalékszerek kutatása (XI.30.)
Szegő J.: Kutatási jelentés a cement szemeloszlásának a módosításával elért eredményekről (XII.18.)

1989:

Németh G.-né – Sas J.: Víztorony minőségvizsgálata Ercsiben (I.9.)
Németh G.-né – Fenyves H.: Az LKM üzem kohósalakja felhasználási lehetőségeinek a vizsgálata (IV.7.)
Németh G.-né – Jurek J.-né: Hazai betonadalékszer termékek kifejlesztése ipari hulladékokból és melléktermékekből (VI.15.)
Németh G.-né: Barrafrost adalékszer betontechnológiai hatásvizsgálata (III.2.)
Kalcidur-85 kötésgyorsító adalékszer betontechnológiai hatásvizsgálata (VIII.25.)
Kutatási jelentés szuperplasztifikátorok betontechnológiai hatásvizsgálatáról (IX.21.)
Ujhelyi J. – Fenyves H.: A betontechnológia 1988 évi színvonalának a felmérése a vállalati beszámolók alapján (IV.10.)
Ujhelyi J.: A beton szövetszerkezetének optimalizálása II. kötet: Különleges betontulajdonságok (V.5.)
MTA doktori disszertáció: A beton struktúrájának és nyomószilárdságának a tervezése (IX.6.)
Reuss A.: Javaslat a Zalamegyei ÁÉV nagykapornaki telepe betontechnológiájának a fejlesztésére (V.7.)

1990:

Németh G.-né – Reuss A.: Kutatási jelentés a hazai gyártású adalékszerek fejlesztéséről (III.5.)
Németh G.-né: Szovjet eredetű betonadalékszer technológiai hatásvizsgálata (VIII.17.)
Ujhelyi J.: A magyarországi betonalapanyagok, betonösszetételek és készítési módszerek elemzése (IV.12.)
A beton szövetszerkezetének optimalizálása III. kötet : Zsugorodás és hajlítószilárdság (VI.2.)
A beton szövetszerkezetének optimalizálása IV.kötet: Ipari bevezetés, Fehérvárcsurgó, víztároló (X.30.)
Szegő J. – Hikisch L.: Épületek falszerkezeti repedéseinek kijavítása injektálással (XI.9.)

1991:

Németh G.-né: FURTOMENT BVS adalékszer betontechnológiai hatásvizsgálata (IV.5.)
Sas L.: Betontechnológiai utasítás az 1956-os emlékmű készítéséhez fehér látszóbetonból (V.14.)
Ujhelyi J. – Liptay A.: Vizsgaanyag a transzportbeton üzemek vezetői részére (V.15.)
Ujhelyi J. – Máhr G.: Vizsgaanyag a transzportbeton üzemek laboratóriumvezetői részére (V.31.)
Ujhelyi J.: Zárójelentés a beton szövetszerkezetének az optimalizálásáról (XI.6.)
Szegő J.: A betonszerkezetek élettartamát befolyásoló transzportfolyamatok hatásmechanizmusának a vizsgálata (XI.30.)

1992:

Ujhelyi J.: Tanulmány a betonstruktúra vizsgálati módszereiről, különös tekintettel a tartósságra 1.rész (OTKA) (II.15.)
A betonstruktúra vizsgálata 1. Zsugorodás-hajlítószilárdság (OTKA) (II.28.)
Zsugorodáskiegyenlítő betonok készítésének a vizsgálata (OMFB) (V.5.)
A tartósság vizsgálatának a módszerei, a korszerű alapanyagok hatása a teljesítőképességre (OMFB) (V.31.)
Szegő J.: A laboratóriumi eszközpark korszerűsítése az EN és az ISO szabványok figyelembe vételével (OMFB) (V.11.)
A heterogén cementek hazai és nemzetközi szabályzatainak összehasonlítása (OMFB) V.30.)
Az adalékszeres betontechnológia jelenlegi helyzete és a fejlődés irányai. Stabilizáló adalékszerek. (IX.11.)
A betonadalékszerek szabályzatai. A kutatási feladatok ipari kapcsolódása (OMFB) (IX.30.)
Ujhelyi J. – Szegő J.: Alapvizsgálatok a zsugorodáskiegyenlítő adalékszerek kiválasztásához (OMFB) (V.25.)
A DCM és a HCM új cementtípusainak betontechnológiai vizsgálata (IX.20.)
A beton struktúrájának a vizsgálata. OTKA kutatási jelentés (XII.12.)

1993:

Szegő J.: A Chem-Beton Kft. folyósító adalékszereinek alkalmazástechnikai vizsgálata (I.12.)
Mikroszilika főhatás szerinti betontechnológiai vizsgálata (OMFB) (IV.15.)
A prEN 197-1 szerinti új heterogén cementek és a nagyszilárdságú pc vizsgálata (OMFB) (IV.30.)
A veszélyes hulladék oldhatatlan beágyazódása betonba. Kriolit 1. (OMFB) (VII.5.)
A bélapátfalvi S 54 cement és a MELCRET adalékszer összeférhetőségének vizsgálata (IX.2.)
A melléktermék egyenletességének és beágyazottságának a vizsgálata. Kriolit 2. (OMFB) (XI.4.)
Folyósító adalékszerek és mikroszilika betontechnológiai vizsgálata (OMFB) (XI.18.)
Transzportfolyamatok mérési módszere: PORO-MÉTER készülék kifejlesztése (XI.30.)
Ujhelyi J.: Tanulmány közhasználatú betontechnológiai adatbank létrehozására és üzemeltetésére (IKM) (IV.2.)
Az EXPO 96 építési tevékenységeire minőségbiztosítási rendszer kidolgozása. Tanulmány és javaslat (IV.30.)
Műszaki Irányelv tervezet: Látszóbeton készítése (IX.5.)
Szakképzettségi követelmények a beton készítői és szállítói részére (OMFB) (XI.15.)
Ujhelyi J. – Szegő J.: Heterogén cementek – Tartósság – Nagyszilárdságú betonok (OMFB) (VI.2.)
A cementfajták hatása a beton szilárdságára (OMFB) (VII.30.)
Zárójelentés a beton alapanyagainak a fejlesztéséről (OMFB) XII.15.)
Ujhelyi J. – Szegő J. – Sz.-né Kertész É.: A beton struktúrájának a vizsgálata (OTKA) (XII.31.)
Ujhelyi J. – Szegő J. – Sz.-né Kertész É. – Révai M.: Hejőcsabai 450 tpc 10 alkalmazástechnikai vizsgálata (XI.25.)
Dombi J.: Az utókezelési mód s a törési sebesség hatása a szilárdságra (ENV 206 és MSZ 4715 összehasonlítása) (OMFB) (VI.3.)
A beton vízzáróságának a vizsgálata. Az ENV és az MSZ módszerek összehasonlítása (OMFB) (IX.11.)
Buday T.: Műszaki Irányelv tervezet: Szivattyúzott beton készítése (X.4.)
Műszaki Irányelv tervezet: Sugárvédő beton készítése (X.28.)
Kausay T.: A betonok kopásállóságáról és a kopásállóság nemzeti szabványáról (OMFB) (XI.6.)
Az ENV 206 és az MSZ 4720 szerinti minősítés eltérő módszerei következményeinek elméleti elemzése (XI.30.)

1994:

Szegőné Kertész É.: Az EXPO-BETON által készített betonkeverékek minőségének elemzése (I.5.)
Ujhelyi J.: A Műszaki Irányelv készítésének elvi alapjai az angol és a német kiadványok figyelembe vételével (OMFB) (III.4.)
A tartós betonok összetételére és készítésére vonatkozó irányelv megalapozása (OMFB) (VII.15.)
A beton és vasbeton készítése új műszaki irányelvei 1.-6. fejezeteinek a szövegtervezete (OMFB) (X.30.)
Ujhelyi J. – Szegő J. – Szegőné Kertész É.: A 350 tpc 20 és 450 tpc 10 cementek betontechnológiai vizsgálata (IX.12.)
Szegő J.: Betonminősítés és összetétel előírás a P-ÉP-KER részére (III.11.)
Marosi homok vizsgálata a Pirográn Kft. megbízására (VI.3.)
Szakvélemény a beton szilárdságáról a TBG Kft. részére (VII.10.)
Kutatási jelentés az egyenletesség és a kioldhatóság vizsgálatáról (OMFB) (VIII.2.)
Szakvélemény a beton szilárdságáról az Aquincum Kft. részére (X.22.)
Révai M.: A betonok alkáli-adalékanyag reakciója (OMFB) (VI.22.)
Buday T.: Betontechnológiai utasítás a dunaújvárosi Malátagyár betonszerkezetei kivitelezésére (VI.24.)

1995:

Szegő J.: Az ELTE északi tömb IV.emeleti vb födémének a vizsgálata (I.11.)
Szakvélemény környezetvédelmi résfal betonjának készítéséről (I.31.)
Szakvélemény a MELMENT L10 és T8 folyósítókról összehasonlító vizsgálat alapján (IV.12.)
Adalékszerekkel készített friss beton keverékek eltarthatóságának a vizsgálata (IV.25.)
A dunaújvárosi Malátagyár betonjának a minősítése (V.4.)
Szakvélemény azbesztcement cső élnyomási terheléssel szembeni ellenállásáról (V.23.)
Javaslat úsztatott esztrich összetételére (VIII.11.)
Szakvélemény betonok tapadószilárdságáról és vízzáróságáról (XII.5.)

Ujhelyi J.: Tanulmány a struktúra jellemzőinek és a beton tulajdonságainak az összefüggéséről (II.3.)
Műszaki Előírás beton és vasbeton készítésére, 1.-22.fejezet szövegének összeállítása, ebből a 3.4. fejezet: *Szegő J.*; 5.6.2.3. fejezet és 12. kötet: *Buday T.*; 6.3.4.3. fejezet: *Dombi J.*; 6.3.4.4. fejezet: *György L.*; 9. kötet: *Kausay T.*; 11.kötet: *Révai M.*; (OMFB pályázat alapján) (VI.22.)

Ujhelyi J. – Szegő J. – Szegőné Kertész É.: Zárójelentés a beton struktúrájának a vizsgálatáról (OMFB) (II.15.)
Pontosság és torzítás. Referencia laboratórium (OMFB) (XI.15.)

Szegőné Kertész É.: Szakvélemény betonminta kopásállóságáról (V.21.)
Betontechnológiai vizsgálatok cementgyártási segédanyagok hatásának a megállapítására (X.4.)

1996:

Szegőné Kertész É.: Friss és beépített betonok vizsgálata (31. ÁÉCS Kft.) (I.22.)
Szakvélemény betonok vízzáróságáról (III.5.)
Környezetvédelmi résfal betonanyagának szilárdságvizsgálata (IV.3.)
Szakvélemény betonminta kopásállóságáról (VI.11.)
Szakvélemény DAKO termékekről (VIII.26.)
Szakvélemény előregyártott műkövek fagyállóságáról (IX.22.)

Szegőné Kertész É. – Sas L.: Nagy teljesítőképességű betonok kutatása (OTKA) (III.30.)

Szegőné Kertész É. – Zsoldos G.: Szakvélemény betonok vízzáróságáról a 31. ÁÉCS Kft. részére (VII.15.)
Zöldbeton Kft. termékeinek megfelelőség-értékelése (IX.12.)

Ujhelyi J. - Wojnárovitsné Hrapka I. - Wagner Zs. - Szegő J.- Szegőné Kertész É. - Zsoldos G.: A betonok pórusméret eloszlását befolyásoló tényezők vizsgálata. Elemző tanulmány (OTKA) (III.20.)

Ujhelyi J.: A BORSODCHEM területén lévő konténerátrakó állomás (Kazincbarcika) károsodásának okai (V.5.)
A veszprémi Kórház központi műtő padozata tönkremenetelének az okai (XI.25.)
Pernyeadalékos cementek hatásmechanizmusának elemzése (X.30.)

Ujhelyi J. – Szegő J. – Zsoldos G.: A lábatlani 450 pc optimalizálása nagyszilárdságú betonhoz (VIII.25.)
Pernyeadalékos cementek hatásmechanizmusának a vizsgálata OTKA) VIII.31.)

Szegő J.: RAVENIT BV 33 képlékenyítő betontechnológiai hatásvizsgálata (III.28.)
Szakvélemény ipari csarnok betonjáról (VI.10.)
Vasbeton födém betonjának minősítése a DIBAU részére (VII.2.)
Tanulmány a betonkiegészítő anyagok szabályozására (XII.4.)

Szegő J. – Zsoldos G.: 450 pc tulajdonságainak optimalizálása nagyszilárdságú betonokban (VIII.26.)

Kausay T.: Betonok szilárdságának elemzése az ASA Kft. részére (IV.12.)

Erdélyi A.: A Betontechnológiai Tanácsadó Szolgálat tevékenysége 1995 évben (IV.25.)

1997:

Ujhelyi J.: Agresszív hatásnak ellenálló tartós betonok kutatása (MCSZ) (II.4.)
A betonalapanyagok, a friss betonkeverék és a szilárd beton vizsgálatának a hitelessége (OMFB) (VI.5.)
A miskolci Csavar- és Húzottárú Rt. Üzemeinek a padlóburkolata. Vizsgálat és értékelés (IX.11.)
A habcement készítési technológiájának a fejlesztése. 1.sz. Kutatási jelentés (XI.15.)
Cementfelhasználási útmutató új cementek alkalmazásához . 1.sz. Kutatási jelentés (MCSZ) (XII.15.)
A cement és az adalékanyag vizsgálatok hitelessége (OMFB) (XII.20.)

Ujhelyi J. – Szegőné Kertész É. – Máhr G.: A habcement készítési technológiájának a fejlesztése I. (XI.15.)

Erdélyi A.: A Betontechnológiai Tanácsadó Szolgálat tevékenysége 1996 évben (II.2.)
A Betontechnológiai Tanácsadó Szolgálat tevékenysége 1997 évben (XII.12.)

1998:

Ujhelyi J.: Nagy teljesítőképességű betonok kutatása. Fagyálló betonok. Kutatási Jelentés (MCSZ) (III.9.)
Betonok pórusméret eloszlását befolyásoló tényezők vizsgálata (OTKA) (IV.12.)
Agresszív hatásnak ellenálló betonok. 2.sz. Kutatási jelentés (MCSZ) (IV.24.)
Cementfelhasználási útmutató új cementek alkalmazásához . 2.sz. Kutatási jelentés (MCSZ) (V.8.)
A betonipar cementfelhasználása. Tanulmány (MCSZ) (V.18.)
A tervezett betonkeverékek szilárdság-ellenőrzésének a hitelessége (OMFB) (VI.12.)
Kis szilárdságú betonok CEM II/A-V 42,5 cementtel készítve (MCSZ) (VII.9.)
Cementfelhasználási útmutató új cementek alkalmazásához . 3.sz. Kutatási jelentés (MCSZ) (IX.23.)

Agresszív hatásnak ellenálló betonok. 3.sz. Kutatási jelentés (MCSZ) (IX.30.)
A habcement készítési technológiájának a fejlesztése. 2.sz. Kutatási jelentés (XI.11.)
A próbakeverések vizsgálatának a hitelessége (OMFB) (XI.16.)
Heterogén cementtel készített beton útburkolatok tartóssága (fagy- és sózásállóság) (ÁKMI) (XII.4.)
Cementfelhasználási útmutató új cementek alkalmazásához . 4.sz. Kutatási jelentés (MCSZ) (XII.18.)

Kausay T.: Az intenzív betonkeverés hatása a beton teljesítőképességére. OTKA T019544 (IV.15.)
A keszegi mészkő alkalmasságának vizsgálata betonadalékanyagként (VI.8.)
A beton és a betonacél kölcsönhatásának vizsgálata a tartósság fokozása érdekében. (VII.31.)

Máhr G. – Szegőné Kertész É.: A habcement készítési technológiájának a fejlesztése II. (XI.26.)

Erdélyi A.: A Betontechnológiai Tanácsadó Szolgálat tevékenysége 1998 évben (XII.1.)

Szegőné Kertész É.: Nagy teljesítőképességű betonok kutatása, fejlesztése. OTKA F015958 (III.12.)

1999.

Ujhelyi J.: A betonkeverékek vizsgálatának a hitelessége (OMFB) (II.18.)
A Champignon Union Kft. komposzt-tároló vb. szerkezeteinek a készítése (II.25.)
A pórusstruktúrát közvetlenül befolyásoló tényezők kvantitatív vizsgálata (OTKA) (IV.13.)
Az OMFB jártassági vizsgálatok 1999 évi munkaterve (IV.26.)
Cementfelhasználási útmutató új cementek alkalmazásához . 5.sz. Kutatási jelentés (MCSZ) (VII.15.)
Heterogén cementtel készített beton útburkolatok tartóssága (fagy- és sózásállóság) (ÁKMI) (X.15.)
Cementfelhasználási útmutató új cementek alkalmazásához . 6.sz. Kutatási jelentés (MCSZ) (XII.17.)

Ujhelyi J. – Szegőné Kertész É. – Máhr G.: Építőipari laboratóriumi vizsgálatok hitelessége. Zárójelentés (OMFB) (XI.20.)

Szegőné Kertész É. – Máhr G.: A habcement készítési technológiájának a fejlesztése III. (XI.29.)

Lachner L.: Kis klinkertartalmú cementek alkalmazása út-alaprétegek készítéséhez, I. ÁKMI. (IV.6.)
Kis klinkertartalmú cementek alkalmazása út-alaprétegek készítéséhez, II. ÁKMI. (VII.28.)
Kis klinkertartalmú cementek alkalmazása út-alaprétegek készítéséhez, III. ÁKMI. (XI.30.)

Erdélyi A.: A Betontechnológiai Tanácsadó Szolgálat tevékenysége 1999 évben (XII.21.)

2000:

Ujhelyi J.: Heterogén cementtel készített beton útburkolatok tartóssága (fagy- és sózásállóság) (ÁKMI záróje-len-tés) (III.2.)
Agresszív hatásnak ellenálló betonok. 4.sz. Kutatási jelentés (MCSZ) (III.15.)
A beremendi CEM II/A-M 42,5 és CEM I 42,5 cementek szulfátállósága (MCSZ) (III.20.)
Vevőtájékoztató a PANNONCEM cementjeinek a minőségéről és a felhasználásukról (MCSZ) (V.24.)
Az EN 206 szerinti szabványos betonösszetételek, a jelenlegi magyar szabvány módosítása (MCSZ) (V.30.)
Az új EN 206 szabvány követelményeit kielégítő betonkeverékek összetételi ajánlásai (TERC Kft.) (XI.11.)
Agresszív hatásnak ellenálló betonok. 5.sz. Kutatási jelentés (MCSZ) (XI.17.)
A hazai cementekkel készített betonok hőmérsékletérzékenységének meghatározása (XI.30.)
Nemzeti szabványtervezet az EN 206-1nek megfelelő betonokra (XII.3.)
Betonösszetételek anyag- és költségszámításokhoz (XII.7.)

Ujhelyi J. – Máhr G.: Néhány hazai cement hőmérsékletérzékenysége. (MCSZ Kutatási jelentés) (XI.30.)
Az EN 206 szerinti betonok szabványos összetételei (MCSZ Kutatási jelentés) (XII.3.)

Buday T.: Habarcsösszetételek anyag- és költségszámításokhoz (XII.7.)

Erdélyi A.: A CEM II/B-V cement szilárdsági és tartóssági tulajdonságai folyósítóval és légbuborék-képzővel (IX.27.)
A cementgyári szállópor alkalmazása útépítési alaprétegek kötőanyagához I. ÁKMI. (X.25.)
A CEM I cementfajtával készített betonok zsugorodásának a vizsgálata (XI.15.)
A Betontechnológiai Tanácsadó Szolgálat tevékenysége 2000 évben (XI.30.)
Cementek és adalékszerek összeférhetőségének vizsgálata (XII.15.)

Erdélyi A. – Máhr G.: Cementek zsugorodási hajlamának vizsgálata betonokon (XII.18.)

Lachner L.: Kis klinkertartalmú cementek alkalmazása út-alaprétegek készítéséhez, IV. ÁKMI. (XI.27.)

2001:

Ujhelyi J. – Máhr G.: A betonok utókezelési időtartamának a meghatározása a cementfajta függvényében 1. (MCSZ) (IV.3.)
Az EN 206 szerinti szabványos betonösszetételek, a jelenlegi magyar szabvány módosítása (MCSZ) (XI.6.)

Ujhelyi J.–Szegőné Kertész É.: Az EN 206 tartóssági követelményeinek vizsgálati megalapozása (MCSZ) (X.31.)

Ujhelyi J. – Szegőné Kertész É. – Máhr G.: A betonok utókezelési időtartama 2. (MCSZ) (XI.30.)

Ujhelyi J.: Nemzeti Alkalmazási Dokumentum az EN 206-1 szabványhoz (II.5.)
Műszaki előírás-tervezet a gyártásközi minőségellenőrzésre (MCSZ) (X.18.)
Hazai cementekkel készített betonok hőmérsékletérzékenysége (MCSZ) (XII.15.)

Erdélyi A.: A cementgyári szállópor alkalmazása útépítési alaprétegek kötőanyagához II ÁKMI. (III.31.)
Táblacsere az M7 autópálya jobboldali 85 km-es kísérleti szakaszán (IV.26.)
Durva adalékanyag Los Angeles minősítő vizsgálata (V.16.)
A CEM II cementfajta alkalmassága fagyálló és vízzáró hídszegély betonokhoz (VII.31.)
Kísérleti útszakaszok betonjának ellenőrzése. ÁKMI. (XI.29.)
A cementek zsugorodási hajlamának vizsgálata betonokon. (XI.30),
A Betontechnológiai Tanácsadó Szolgálat tevékenysége 2001 évben (XII.30.)

Erdélyi A.–Szegőné Kertész É.–Gável V.: A hazai forgalomban lévő adalékszerek összeférhetősége a cementekkel (XII.20.)

Szegőné Kertész É.: Kísérleti cementek vizsgálata betonkeverékekben (I.15.)
A pernye betonban való alkalmazhatóságának a vizsgálata (II.15.)

Lachner L.: Kis klinkertartalmú cementek alkalmazása út-alaprétegek készítéséhez, V.-VI. ÁKMI. (VII.31.)

2002.

Ujhelyi J.: Dolomit zúzottkő alkalmazhatósága (MAHILL Kft.) (IV.19.)
A betonkeverékek utókezelési időtartamának meghatározása (2/28 napos szilárdság) (IX.15.)
A CEM III/A 32,5 jelű cementek betontechnológiai vizsgálata (IX.30.)
A CEM III/B 32,5 jelű cementek betontechnológiai vizsgálata (X.22.)
Különböző cementekkel készített betonkeverékek ellenállása agresszív hatásokkal szemben (X.30.)
A különböző összetételű betonkeverékek hőmérséklet érzékenysége (XI.28.)

Erdélyi A.: Gyorsbetonok laboratóriumi vizsgálatának és 3 éves magmintáinak vizsgálati eredményei (II.11.)
Hazai cementek és hazai adalékszerek összeférhetőségének vizsgálata (V.12.)
A Betontechnológiai Tanácsadó Szolgálat tevékenysége 2002 évben (XII.20.)

3. A KUTATÁSI MUNKA ELEMZÉSE

3.1. A betontechnológiai kutatás-fejlesztés feladatai

A betontechnológiai kutatásnak általában a következő feladatok megoldására kell törekednie:

- a szabványosított vagy még nem szabványosított, de az iparban már alkalmazott betonjellegű anyagok tulajdonságainak és a különböző tulajdonságok összefüggésének a meghatározása;
- a betonjellegű anyagok gyártási technológiájának, előállítási módszerének fejlesztése;
- új betonjellegű anyagok kutatása és ellenőrzése;
- meghatározott betontulajdonságokat befolyásoló tényezők és hatások megállapítása;
- a betonösszetétel tervezési módszereinek a vizsgálata és fejlesztése;
- a betonok alapanyagai, a különböző betonok tulajdonságai és ellenőrzési szabványainak a kidolgozása.

A betonkutatás eredményeit a tervezők, a technológus, az építőanyag-gyártó, az építőgépész, a kivitelező, a beruházó és minőségellenőr egyaránt hasznosítja.

A ***szerkezettervezőt*** az építőanyagoknak azok a tulajdonságai érdeklik, amelyek az adott építmény funkciójából eredő igényeknek, illetve igénybevételeknek megfelelnek. Ezek a tulajdonságok a betonok, illetve a betonjellegű anyagok esetén a következők :

- ellenállás agresszív hatásokkal szemben;
- fagy- és sózásállóság;
- felületi kiképzés lehetőségei, színezhetőség;
- hőállóság, tűzállóság;
- kopásállóság;
- vízzáróság;
- elektromos vezetőképesség, illetve szigetelés;
- a betonból kialakítható elemek méretei;

- szigetelés a radioaktív hatásokkal szemben;
- tapadás egyéb építőanyagokhoz;
- a betonszerkezetek használati élettartama.

A ***méretezőt*** (statikus tervezőt, illetve az épületfizikust) azok a tulajdonságok érdeklik elsősorban, amelyek megszabják a szerkezeti elemek méreteit, hogy azok az adott igénybevételeknek teljes biztonsággal megfeleljenek. Ezek a tulajdonságok a következők :

- a betonszilárdság egyenletessége (szórása);
- a betonszilárdság átlagértéke (nyomó-, hajlító-, húzó-, nyíró- stb. szilárdság);
- a betonszilárdság valószínűségi eloszlása;
- a számításba veendő önsúly (testsűrűség);
- alakváltozás (zsugorodás, duzzadás, rugalmas alakváltozás, lassú alakváltozás);
- vasalhatóság (vastapadás, acélbetétek korróziója és védelme);
- hőtechnikai tulajdonságok (hőszigetelés, hőcsillapítás, páraátbocsátás);
- akusztikai tulajdonságok (hangszigetelés, hanggátlás).

A ***betontechnológus*** a szerkezettervezőtől, illetve a méretezőtől kapja meg azokat az adatokat, amelyek alapján meg kell terveznie, és el kell készítenie a betont vagy betonjellegű anyagot. Ezért számára mindazok a változók fontosak, amelyektől az előbb felsorolt tulajdonságok függenek. Fontosak számára továbbá a készítés módszerének a beton tulajdonságait befolyásoló hatása. Ezért számára a következő jellemzők fontosak :

- alapanyagok (kötőanyag, adalékanyag, kiegészítő anyag, adalékszer) tulajdonságai (átlagérték, szórás);
- alapanyagok tulajdonságainak hatása a betonjellegű anyagok tulajdonságaira;
- a betonösszetétel tervezésének a módszerei;
- a készítés módjának a megválasztása;
- a betonkeverék tulajdonságai (összetartóképesség, eltarthatóság, szállíthatóság, bedolgozhatóság stb.);
- a bedolgozott friss beton tulajdonságai (vérzés, tömörség stb.);
- a beton szilárdulásának a környezeti feltételei (hőmérséklet hatása);
- az érlelés, utókezelés lehetőségei;
- a szerkezettervezők és a méretezők számára lényeges tulajdonságok kialakításának a feltételei.

Az ***építőgépész*** tervezi meg azokat az eszközöket és eljárásokat, amelyekkel a szükséges tulajdonságokkal rendelkező betonterméket műszakilag és gazdaságilag egyaránt optimális módon lehet elkészíteni. Ezért számára a következő kérdések fontosak :

- ✓ az alapanyagok fogadásának és tárolásának a feltételei;
- ✓ az alapanyagok előkészítése az adagoláshoz (aprítás, osztályozás, tisztítás);
- ✓ az alapanyagok mérlegelése és adagolása;
- ✓ a beton keverése és szállítása, szállíthatósága;
- ✓ a beton bedolgozása, a tömörítés eszközei;
- ✓ az utókezelés igényei, lehetőségei és eszközei (pl. hőérlelés);
- ✓ a betonelemek előregyártásának a lehetőségei;
- ✓ az előregyártott betonelemek szállításának a feltételei.

A ***kivitelező*** a szerkezetek készítése alkalmával a betontechnológust és az építőgépészt érintő problémákkal találkozik, ezért számára az ott felsorolt jellemzők lényegesek. Van azonban olyan tevékenysége, amely a ***minőség-ellenőrzés*** feladataival kapcsolatos, és olyan, amely a ***beruházót*** is érinti. Ezek a következők :

- ❖ a betonmunkák költségei, gazdaságossága;
- ❖ a betonmunkák gyártásközi ellenőrzésének a gyakorisága, az ellenőrzés módszerei;
- ❖ az ellenőrzés, vizsgálatok hatása a betonminőség egyenletességére;
- ❖ a vizsgálati módszerek és azok hitelessége.

A felsorolt jellemzőket, kérdéseket, problémákat a betonszerkezetek tervezésének és kivitelezésének az időrendjében kíséreltem meg felvázolni. Természetesen a betonkutatási tevékenység nem minden esetben különíthető el kutatási-kísérleti témánként, mert a kölcsönhatások miatt szinte teljes terjedelmében jelentkezik. A következőkben azt próbálom megvizsgálni és összegezni, hogy a Fővárosi Laboratórium – ÉTI – Betonolith – Cemkut egymásra épülő, jogfolytonos fejlesztési munkái mennyiben adtak választ a fent felsorolt kérdésekre.

Munkánk természetéből következik, hogy kísérleteink eredményeiből levont következtetéseket elsőssorban a betontechnológus számára kívántuk hasznosíthatóvá tenni, de ebből következően feleleteket adtunk a szerkezettervező és a méretező által feltett kérdésekre is.

A betonkeverékek és a betonszerkezetek minőségét a nyolcvanas évek elejéig elsősorban a mechanikai igénybevételekkel szembeni ellenállás alapján kellett értékelni, ezért mindenekelőtt a méretező számára lényeges követelményeket kielégítő beton készítésének a kutatása állt a laboratóriumi munka középpontjában. A nyolcvanas évektől egyre világosabbá vált, hogy a szerkezetek használhatóságát a környezeti hatásokkal szembeni ellenállás határozza meg s az ebből az következik, hogy a ***beton szövetszerkezetének*** *(pórusstruktúrájának)* a szabályozása vált a legfontosabb feladattá. Ez a szemléletbeli váltás határozta meg az utolsó évtizedekben végzett munkánkat.

3.2. Szerkezettervezéshez kapcsolódó K+F munka

3.2.1. Ellenállás agresszív hatásokkal szemben

A CEMKUT Kft. (korábban a Fővárosi Anyagvizsgáló Intézet, később az ÉTI Betontechnológiai tagozat, majd a Betonolith K+K Kft., ezt követően a Cemkut K+F Kft.) irattárában megtalálható kutatási jelentések, tanulmányok, szakvélemények és elemzések alapján megállapítható, hogy a Betontechnológiai laboratórium (a továbbiakban: *Laboratórium*) munkaterülete kezdetben a budapesti építkezéseken a főváros megbízására kivitelezett beton és vasbeton szerkezetek minőségének az ellenőrzése volt. Budapest számos helyén sok gyógyforrás található, ami miatt az altalaj és a talajvíz betonra agresszív anyagokat tartalmaz. Ezek sok esetben okozták a betonalapok korai tönkremenetelét. A kedvezőtlen tapasztalatok alapján kezdte el a harmincas évek végén Dr. Gáspár Géza, a laboratórium akkori vezetője († 1958), a szulfáttartalmú talajok és talajvizek károsító hatásainak ellenálló betonok vizsgálatát. Ez tekinthető a Laboratórium kutatási tevékenysége kezdetének. Dr. Gáspár eredményeit felhasználták egyrészt a később elkészített szabályzatok, másrészt a további, ezen a területen folytatott kutatások.

Ez a fajta kutatás azonban csak akkor tekinthető elegendően részletesnek és alaposnak, ha természetes feltételek között tárolt betonokat is lehet ellenőrizni hosszú időn át. Ezért 1964 évtől kezdve a *Laboratórium* a Földmérő és Talajvizsgáló Vállalat által létesített (Dr. Medgyesi Iván) kitéti állomásokon helyezte el a próbatesteket, eredeti szulfáttartalmú talajokban, Budapesten és több vidéki telephelyen. Ezeket a költséges, az ÉVM által finanszírozott kutatásokat 1982 évben zártuk le s ennek eredményei alapján készült el a vonatkozó szabvány (MI 17215/1-4:1986 Építőipari korrózióvédelem). A betonkészítési előírás fejlesztése érdekében 1992 évben újból foglalkozni kellett ezzel a problémával, de csak kisebb költségű vizsgálatokat végezhettünk az OMFB pályázaton elnyert szerényebb támogatással. Ehhez az ASTM szabvány által előírt eljárást használtuk, amelynek eredményeképpen készült el 1995 évben a MÉASZ ME-04.19:1995 Műszaki Előírás 10. „Agresszív hatásnak ellenálló betonok készítése” című kötete.

Az ezen a területen folyó laboratóriumi munka nem szünetelhet, mert egyrészt a betonkészítés fejlesztése, másrészt az alapanyag-választék bővülése ismételten felveti az ellenőrzés szükségességét. Ezért 1996 óta ismét végzett vizsgálatokat a *Laboratórium* ezen a területen, mégpedig az ASTM szabványban leírt módszer felhasználásával s a munka 2003-

ban is folytatódik az MSZ EN 197 szabványnak megfelelő cementek hazai gyártásának folyamatos kifejlesztésével egyidejűleg.

3.2.2. Fagy- és sózásállóság

A fagyállóság vizsgálatához megfelelő fagyasztó berendezés szükséges, amelyet a *Laboratórium* a hetvenes évek második felében szerzett be, majd 1992-ben korszerű berendezésre cserélte ki. A betonok eme tulajdonságának az ellenőrzését már az ötvenes évek elején el kellett kezdeni, de akkor csak a klorid hatását vizsgáltuk. Később - a korszerű, automatizált fagyasztó berendezésben – a fagyás és a sózás együttes hatását is ellenőrizhettük. E vizsgálatok alapján sikerült összeállítanunk a MÉASZ ME-04.19:1995 7. „Fagyálló betonok” című kötetét.

Az új európai szabvány hazai honosítása (MSZ EN 206-1:2002) szükségessé tette a fagyásnak és az egyidejű sózásnak kitett betonok tulajdonságait befolyásoló tényezők további kutatását annak érdekében, hogy az európai szabvány követelményeit kielégítő betonok készítésére megfelelő irányelveket lehessen összeállítani. Ezek a vizsgálatok alapot adtak arra, hogy a nagyszilárdságú fagyálló betonok készítésekor a légbuborékképző adalékszer alkalmazásától eltekinthessünk. Az újabb vizsgálatok arra is rámutattak, hogy ha a beton próbatestek teljes víztelítettségét nem érjük le, akkor nem várható a fagyás miatti tönkremenetel még közepes szilárdságú betonokban sem.

3.2.3. A felületi kiképzés lehetőségei, látszóbetonok

A múlt század közepe óta fogalmazódott meg világszerte annak az igénye, hogy esztétikus megjelenésű betonfelületeket lehessen készíteni. A *Council International of Building* (nemzetközi építési tanács) W 29 számmal munkabizottságot alakított, amelynek koordinált tevékenységében 1961-től kezdődően 1975-ig a *Laboratórium* is résztvett. A laboratóriumi vizsgálatok alapján az alapanyagok (adalékanyag, cementfajta, adalékszerek) és a betonösszetétel hatását állapíthattuk meg a felületi megjelenés egyenletességére, továbbá a zsaluzóanyagok és a betonkészítés (tömörítés, betonrétegek összedolgozhatósága, utókezelés) optimalizálásával foglalkoztunk.

A laboratóriumi eredmények átültetését a gyakorlatba számos sikeres létesítmény igazolta (szombathelyi emlékmű, Bp. Kacsóh Pongrác úti épületek homlokzata, tatabányai díszkolumbárium stb.) 1972-1980 között. A laboratóriumi eredmények és az ipari tapasztalatok alapján készítettük el a MÉASZ ME-04.19:1995 előírás 15. „Látszóbetonok” című kötetét, amelyhez felhasználtuk a korábban (1972-ben) összeállított irányelv számos megállapítását.

3.2.4. Hőállóság, tűzállóság

A hő- és tűzálló betonok készítési feltételeinek a vizsgálatát 1960 évben kezdtük el. A vizsgálati eljárást is ki kellett dolgoznunk. Vizsgálati próbatestként 0,2 – 2 m^2 felületű, különböző vastagságú és összetételű betonlemezeket készítettünk. Infravörös sugárzó fűtőtestek sorbakapcsolása segítségével értük el, hogy a vizsgálatnak kitett betonfelületeken – a fűtőtestektől való távolság változtatásával – meghatározott hőmérsékleteket alakíthassunk ki. Szemléletesen is kimutathattuk a kavicsbetonok igénybevehetőségének a határát (legfeljebb 400 °C , mert 500 °C elérését követően a kavicsbeton szó szerint felrobbant a kvarc gyors hőtágulása következtében). A könnyűbetonok (agyagkavicsbeton, kohóhabsalakbeton, agloporitbeton stb.), megfelelő összetétellel, akár 800 °C hőmérsékletnek is ellenálltak.

A vizsgálatok eredményeit ipari létesítményeken vezettük be és ellenőriztük (pl. a százhalombattai kémények, inotai gázturbinás csúcserőmű építése). A vizsgálatok és az ipari eredmények adtak lehetőséget a MÉASZ ME-04.19:1995 előírás 13. „Hő- és tűzálló betonok” kötetének az elkészítéséhez.

3.2.5. Kopásállóság

Korábban a kopásálló betonokkal a SZIKKTI Betonosztálya foglalkozott. Miután a *Laboratórium* fuzionált a SZIKKTI Betonosztállyal, a kopásállósági vizsgálatokra is lehetősége volt. A beton alapanyagainak és a betonösszetételnek a kopásállóságra gyakorolt hatásának az ellenőrzése tette lehetővé a beton nyomószilárdság és a kopásállóság közötti szoros összefüggés megállapítását.

A korábbi és az újabb vizsgálatok eredményeit iparilag is sikeresen kipróbáltuk (hódmezővásárhelyi díszburkolat, kazincbarcikai konténer-átrakó állomás, M7 autópálya hibás szakaszainak a javítása stb.). Ezeknek a vizsgálatoknak és ipari alkalmazásoknak az eredményei segítségével lehetett elkészíteni a MÉASZ ME-04.19:1995 előírás 9. „Kopásálló betonok" című kötetét.

3.2.6. Vízzáróság

A beton vízzáróságát befolyásoló tényezők laboratóriumi vizsgálatát a budapesti metróvonal építésének megindulása előtt, a tübingelemek csatlakozásának a kiöntő betonjával már 1953 évben elkezdtük (részben kapcsolódva az agresszív hatásnak ellenálló betonok kutatásához), és folyamatosan foglalkoztunk az alapanyagok (adalék-szerek, adalékanyagok, inert betonkiegészítő anyagok, cementfajták) és a betonösszetétel hatásának az ellenőrzésével. Ezekhez a vizsgálatokhoz szorosan hozzátartozott a betonok bedolgozási és utókezelési feltételeinek a meghatározása is. A vizsgálatok eredményeit több ipari létesítmény kivitelezéséhez készített betontechnológiai utasításban használtuk fel 1959 évtől kezdve (pörgetett csőgyártás, hirdi bányaidomkő-gyártás, RIMAS-csőgyártás, csepeli Finomhengermű, Dywidag-rendszerű medencék készítése, északpesti szennyvíztisztítótelep, budapesti Ringló utcai víztorony stb.).

A laboratóriumi eredmények és az ipari tapasztalatok birtokában lehetett a MÉASZ ME-04.19:1995 előírás 8. „Vízzáró beton" című fejezetét összeállítani.

3.2.7. Szigetelés a radioaktív hatásokkal szemben

Az atomerőművek, röntgenlaboratóriumok és más radioaktív sugárzással fertőzött létesítmények határoló szerkezeteinek a készítésére, védelmére különböző típusú sugárvédő betonokra kell készíteni. A Központi Fizikai Kutatóintézet csillebérci telepén épült az első kísérleti atomreaktor, amelynek szerkezeteihez a betonanyagot *Laboratóriumunk* kezdte kutatni 1955 évben, majd hosszú időn át folytatni ezeket a kutatásokat. Így foglalkoztunk a limonit és a hematit betonok vizsgálatával (1956-75), a hidrátbetonokkal (1957-65), a bauxitbetonokkal (1958-62), baritbetonokkal (1966), a különböző külföldi származású nehéz adalékanyagokkal (1971), bórtartalmú adalékanyagok (1977). A legalább 3,6 t/m^3 testsűrűségű betonokhoz acéltestek adagolása (pl. acélsörét) szükséges, ezt is több alkalommal kellett vizsgálnunk (1970-78).

A vizsgálatok eredményeit az ipar azonnal hasznosította és folyamatosan hasznosítja: KFKI csillebérci kísérleti reaktora és „R" épülete (1958), , Állatorvosi Egyetem röntgenépülete (1970), Kismotor és Gépgyár röntgenlaboratóriuma (1971), műegyetemi kísérleti reaktor besugárzó alagútja (1971), szegedi Biológiai Köz-pont, bp.-i Ipari Szerelvények gyára (1973), győri Műszaki Főiskola , paksi Erőmű 3,6 t/m^3 testsűrűségű betonja, SZOTE mélyterápiás besugárzó (1976), paksi Erőmű turbinaalapjai (1978), Bp. Weil E. kórház sugárterápia, Bp. Hetényi kórház baritbetonja, kecskeméti BÁCSÉP-röntgenlaboratórium, (1979), Ferihegy röntgenfelvételező (1981), paksi Hőerőmű, Onkológiai Intézet diagnosztikai tömb (1982), Onkológiai Intézet gyorsító (1983).

Az igen kiterjedt, a sugárvédelmi betonok valamennyi kérdését érintő laboratóriumi kísérletek és ipari tapasztalatok segítettek hozzá bennünket a MÉASZ ME-04.19:1995 előírás 12. „Sugárvédő nehéz- és hidrátbetonok” című fejezetének az elkészítéséhez.

3.2.8. A betonszerkezetek használati élettartama

A betonszerkezetek tartósságát az MSZ EN 206-1:2002 európai szabvány a legfontosabb követelményként fogalmazza meg. Ezt a beton teljesítőképességének a vizsgálata alapján lehet megítélni, hiányoznak azonban a teljesítőképesség szabatos ellenőrzésének a vizsgálati módszerei. Ezért a használati élettartamot csak közvetett módon, a betonszerkezeteket érő fizikai, kémiai és mechanikai igénybevételekkel szemben a tapasztalatok szerint megfelelően ellenálló betonösszetételek meglétének az ellenőrzésével lehet becsülni.

A betonösszetétel megfelelősége mindenekelőtt attól függ, hogy képes-e a betont érő igénybevételekkel szembeni ellenálláshoz szükséges szövetszerkezetet, struktúrát (főleg a pórusstruktúrát) létrehozni, kialakítani.

A beton pórusstruktúrájának vizsgálatát a *Laboratórium* a nyolcvanas években kezdte el (ebből 1990 évben sikeresen megvédett MTA doktori disszertáció is készült), majd a kilencvenes évek második felétől folytatatta. A vizsgálatok eredményei részben beépültek a MÉASZ ME-04.19:1995 vonatkozó fejezeteibe, részbe alapot szolgáltattak az MSZ EN 206-1:2002 szabvány Nemzetei Alkalmazási Dokumentumának az elkészítéséhez, amelynek megjelenése 2003 évre várható.

3.3. A méretezéshez kapcsolódó K+F munka

3.3.1. A betonszilárdság egyenletessége (szórása)

A beton, vasbeton és feszített vasbeton szerkezetek erőtani tervezését a korábbi determinisztikus módszerekről a hetvenes évektől valószínűségi elvek alapjára helyezték. Ez azt jelenti, hogy nem a beton teherbíró képességét nem az átlagos nyomószilárdsága, hanem az ún. jellemző nyomószilárdsága, az 5 % alulmaradási valószínűséghez tartozó nyomószilárdsága határozza meg. Ezt a jellemző szilárdságot a betonminőség egyenletessége ismeretében lehet kiszámítani; az egyenletességet a szilárdság szórása fejezi ki. Ha f_{ci} az egyedi nyomószilárdság (egy minta vizsgálati eredménye), f_{cm} az átlagos nyomószilárdság, akkor az *s* tapasztalati szórás *n* egyedi nyomószilárdság esetén (*n* legalább 35 db) a következő:

$s = \sqrt{\frac{(f_{cm} - f_{ci})^2}{n-1}}$ és az 5 % alulmaradási valószínűséghez tartozó jellemző szilárdság: $f_{ck} = f_{cm} - 1{,}645 \times s$.

A *Laboratórium* kutatási összefoglalójából kitűnik, hogy a szilárdság szórásával már 1953-1954 évtől kezdtek foglalkozni nemcsak a beton, hanem pl. a tégla minőségvizsgálatai alkalmával s ez a munka napjainkig folytatódott. A vizsgálatok eredményei alapján meg lehetett állapítani, hogy a beton szilárdsági szórása nem az átlagos nyomószilárdság százalékában fejezhető ki (mint ahogyan ezt pl. az MSZ 15022 szabvány feltételezte), hanem alapvetően a betonkészítő munkahely felkészültsége határozza meg. A legjobb munkahelyen a szórás kb. 2 N/mm^2-re, a legrosszabb munkahelyen kb. 8 N/mm^2-re tehető.

Ezeket az eredményeket több alkalommal ellenőriztük az iparban (Északpesti betongyár 1988-89; ASA Kft 1994). Eredményeinket és az ipari tapasztalatokat használtuk fel a MÉASZ ME-04.19:1995 előírás 4. kötetének 4. fejezetében (a betonszilárdság becsült szórása).

3.3.2. A beton szilárdságának a szabályozása

A szerkezetek teherbírásának javításához szükséges növelni az elérhető betonszilárdságot. A *Laboratórium* a nagyszilárdságú beton készítésének az összetétellel kapcsolatos feltételeit már 1951 év óta kutatja, amely a beton keménységének a növelését is jelenti (1952). A készítéssel kapcsolatos kísérleteket 3.4. szakasz tartalmazza. A szilárdság növelésének egyik lényeges feltétele a vízadagolás mérséklése (a víz/cement tényező csökkentése), amelyhez a vízigény becslésének a módszereit is meg kellett határozni. Többszöri nekifutás után (1953, 1972) a vízigény becslésének a vizsgálatát 1993 évben fejeztük be. Monomerek friss betonba keverésével és ezek polimerizálásával növelhető a betonok szilárdsága, ezzel 1979-82 években kísérleteket végeztünk. A nyomószilárdság javításának ipari igényeit követve foglalkoztunk többek között a feszített vasúti keresztaljak betonjával (1958-64), a nagyszilárdságú cementek hatásával (1959 -92), a vízcsökkentő adalékszerek alkalmazásának a feltételeivel (1967-96). Kiterjedt vizsgálatokat végeztünk a beton levegőtartalmának a szilárdságra gyakorolt hatásával (1980-1993). A szilárdság változatlan víz/cement tényező mellett csökken, ha nő a beton péptartalma és a péptartalom növelésével a beton pórustartalma. Ez vezetett el a pépigény-péptelítettség összefüggés kidolgozásához (1975-1990). A nyomószilárdságon kívül az előregyártott betonok hajlító-húzó szilárdságának a javításával is foglalkoztunk (1967).

A nagyszilárdságú beton ipari alkalmazása még nem tekinthető általánosnak, de az ipari alkalmazás lehetőségeit megvizsgáltuk (1980), és néhány ipari alkalmazásban közreműködtünk (feszített vasúti keresztaljak betontechnológiája, 1969-72; budapesti aluljárók födémszerkezetei, 1976-77; óvóhelyek gázzáró betonja, 1978; komposzt-tároló nagyszilárdságú betonja (1999), M7 autópálya táblacseréje (2001).

A nagyszilárdságú betonok szilárdságának alsó határa az elmúlt 50 év alatt 30 N/mm^2 átlagértékről ma már 75 N/mm^2-re növekedett, ezért *Laboratóriumunk* kutatásainak alkalmazhatósága is csak korlátozott: az adott időszakra érvényes. A kísérletek azonban hozzásegítettek bennünket a befolyásoló tényezők alapos megismeréséhez. A nagyszilárdságú betonokat mindig egyedileg tervezett összetétellel kell elkészíteni, ezért erre a betontípusra nem készül általános érvényességű irányelv.

3.3.3. A betonszilárdság valószínűségi eloszlása

A nyomószilárdság jellemző értékére a 3.3.1. szakaszban bemutatott egyenlet – az 1,645 értékű szorzótényező – akkor érvényes, ha a beton nyomószilárdságának az eloszlása azonos a Gauss-féle normális eloszlással. Az MSZ 15022 és az ehhez kapcsolódó MSZ 4720 szabványok $s = 0{,}15 \times f_{cm}$ szórást és normális eloszlást tételeztek fel. Szükséges volt a szórás vizsgálatán kívül ellenőrizni a nyomószilárdság valószínűségi eloszlását is, amelyre 1978-1979 években kiterjedt kísérleteket végeztünk. Megállapíthattuk, hogy a kis szilárdságú (f_{cm} < 20 N/mm^2) betonok nyomószilárdságának valószínűségi eloszlása balra ferdülő, szélső esetben a második alsó extremális eloszlást közelítheti, míg nagyobb szilárdságú (f_{cm} > 20 N/mm^2) betonok nyomószilárdságának valószínűségi eloszlása jobbra ferdülő, szélső esetben a logaritmikusan normális eloszlással lehet egyenlő. Ebből következik, hogy az 1,645 értékű szorzótényező csak durva közelítés (az MSZ EN 206-1:2002 szabvány például 1,48 értékű szorzótényezőt is elfogad).

Ezek a különbségek adott munkahelyen a beton átlagos nyomószilárdságára épülő betonösszetétel-tervezést csak kis mértékben befolyásolják, nagyobb jelentőségük van a minőség ellenőrzése és tanúsítása során, mert az eloszlás elhanyagolásával a minőségellenőr kedvezőtlen esetben nem kielégítő szilárdságú betont elfogadhat, megfelelő szilárdságú betont pedig visszautasíthat.

Eredményeinket és ezzel kapcsolatos ipari tapasztalatainkat belefoglaltuk a MÉASZ ME-04.19:1995 előírás 6. „Vizsgálat, minőség-ellenőrzés, minőségtanúsítás” című fejezetébe.

3.3.4. A beton alakváltozása

A betonszerkezetek tartósságának egyik feltétele az, hogy csekély legyen repedezés és a repedéstágasság. Ha nagy a beton zsugorodása (plasztikus zsugorodás, száradási zsugorodás) és a rugalmassági modulusa (a merevsége), akkor a repedezési hajlam is jelentős lehet. Ezért szükséges az alakváltozások vizsgálata, amit a *Laboratórium* 1961 évben a cementpépek zsugorodásának az ellenőrzésével kezdett el., majd 1962 évben a rugalmas, repedésmentes betonok kutatásával folytatott. A cementkövek és a betonok alakváltozásának az összefüggéseit 1964 évben ellenőriztük. E témakörben a duzzadó kiöntő habarcsok összetételét is ellenőrizni kellett (1970), valamint az alakváltozás szabályozását szálerősítéssel (1972-76), a zsugorodásmentes betonok készítési feltételeivel (1978). Foglalkoztunk a betonok teljes feszültség-alakváltozási diagramjának a felvételével (1986), a zsugorodáskiegyenlítő betonokkal és az ehhez szükséges adalékszerekkel (1992), valamint a zsugorodás és a beton szövetszerkezete közötti összefüggéssel (1992-93) és az európai szabványoknak megfelelő cementek zsugorodást befolyásoló hatásával (2000) is foglalkoztunk.

Vizsgálataink eredményeit iparilag is több esetben hasznosítottuk, elsősorban betonburkolatok és látszóbeton felületek készítéséhez összeállított technológiai utasításokban. Eredményeinket és tapasztalatainkat a MÉASZ ME-04.19:1995 előírás 16. „Kis zsugorodású és csekély kúszású betonok” című kötetének az elkészítésekor hasznosítottuk.

3.3.5. A betonok vasalhatósága

A vasbetonok készítésekor meg kell oldani az acélbetétek és a beton közötti kellő tapadást, továbbá meg kell védeni az acélbetétet és bármilyen beágyazott fémet (pl. előregyártott vasbeton elemekbe elhelyezett emelőkampók) a rozsdásodástól. Az acélbetétek korróziója nemcsak az acél és a beton együttdolgozását rontja, hanem a rozsda a nagymérvű (~ 10 %) térfogatnövekedés miatt a betontakarást lefeszítheti. Az acélbetét akkor rozsdásodik, ha a felületén kialakult cementpép-kéreg lúgossága romlik, a pH érték 10 alá csökken a betontakarás karbonátosodása következtében.

A *Laboratórium* már 1951 évben foglalkozott az acélbetétek tapadását befolyásoló tényezőkkel, az acélbetétek korrózió elleni védelmét 1968 óta vizsgáljuk. Jelentős előrelépés volt a levegőtartalom hatásának felmérése, majd ezt követően a pórustartalom csökkentésére adagolt adalékszerek vizsgálata (1980-93), illetve a beton szövetszerkezetének optimalizálása (1987-1990). A betonstruktúra vizsgálata vezetett el bennünket a karbonátosodási folyamatok jobb megértéséhez és a védekezési eljárások pontosításához (1991-1995). Ezeknek a munkáknak az eredményeként fogalmazhattuk meg az MSZ EN 206-1:2002 szabvány Nemzetei Alkalmazási Dokumentumát a karbonátosodás elleni védelemre (2002).

3.3.6. Hőtechnikai tulajdonságok, a beton testsűrűsége

Az építőanyagok hőtechnikai jellemzőire jelentős hatása van a testsűrűségnek. Ez alól a betonanyag sem kivétel. Részben a hőszigetelőképesség javítására, részben a szerkezetek súlyának a csökkentésére kezdődött el a könnyűbetonok kutatása és alkalmazása világszerte a negyvenes években. Háromféle könnyűbeton típus ismeretes: a csak hőszigetelő, a teherhordó és hőszigetelő, végül a csak teherhordó könnyűbeton. Ezeket szilárd állapotukban mért testsűrűségük alapján lehet megkülönböztetni: <400 kg/m^3 mellett csak hőszigetelésre, 400-1600 kg/m^3 között hőszigetelésre és teherhordásra, általában >1700 kg/m^3 esetén csak teherhordásra alkalmasak. *Laboratóriumunk* már 1952 évben kezdett a könnyűbetonok kutatásával foglalkozni. Először a kazánsalak adalékanyagú betont vizsgáltuk (1952-59), majd számos természetes és mesterséges könnyű adalékanyag alkalmasságát ellenőriztük, illetve felhasználásuk módját dolgoztuk ki. Ezek a következők voltak: mindszentkállai salakos bazalt (1955), andornaktályai riolittufa (1956), kohóhabsalak (1956-74),

bodrogkeresztúri riolittufa (1957-62), pernyekavics (1958-60), perlit (1959-87), agyagkavics (1960-64), polisztirol-gyöngy (1974-77)

A könnyűbeton kutatás eredményeit igen gyorsan követte az ipari bevezetés, minthogy a falazóanyag-hiány enyhítésére és az építkezés meggyorsítására egyrészt kézielem (6-8 téglaméret), középblokk (félemelet-magas) és nagyblokk (emeletmagas) termékek üzemszerű gyártására nyílt lehetőség, másrészt emeletmagas táblás zsaluzatokban egyszemcsés öntöttbeton falakat lehetett termelékeny módon előállítani. *Laboratóriumunk* valamennyi hazai könnyűbeton-üzem létesítésében és az ipari gyártás bevezetésében résztvett. Ezek: Bodrogkeresztúr, tufabeton kézielemgyár (1956-57), Diósgyőr salakbeton kézielemgyár (1959), dunaújvárosi, kecskeméti, debreceni, miskolci, budapesti habsalak közép- és nagyblokkgyárak (1958-64), öntött beton épületek (Szigetszentmiklós, Budapest, Veszprém, Szeged földszintes épülettől a 9-11 emeletes öntött házakig (1958-84). Valamennyi ipari megvalósításhoz betontechnológiai utasításokat állítottunk össze.

A könnyűbetonok összetételének tervezése témájában MTA kandidátusi disszertáció készült (védés: 1968).

A könnyűbetonkutatásunk eredményeinek nemzetközi visszhangja is volt. Ennek következtében résztvettünk az UNIDO (United Nations Indutrial Development Organization) által támogatott, könnyűbetonokkal kapcsolatos munkákban (Izland 1974 és 1976, Mongólia 1980, Szíria 1981), tapasztalatadásban (Kuba, 1971, Plzen 1980, Belgrád 1982), valamint megnyertünk törökországi tendert (bonyolító: NIKEX) a perlit bányászat és ipari felhasználás területén (1974-77).

A közel negyven éven át tartó hazai és külföldi kutatásaink eredményei, továbbá a hazai és a külföldi ipari tapasztalatok összegezéseként készítettük el a MÉASZ ME-04.19:1995 előírás 14. „Könnyűbetonok” című fejezetét.

A laboratórium e témában résztvett a nemzetközi kutatásban is, 1967 évben a RILEM szervezésében rendezték meg az első könnyűbeton konferenciát Budapesten, a Magyar Tudományos Akadémián (titkár, valamint a konferencia kiadványának a szerkesztője Ujhelyi J. volt, aki a műszaki tudományok kandidátusa fokozatot 1968 évben a könnyűbetonokkal végzett munkái révén szerezte meg).

3.4. .A betontechnológiához és az építésgépesítéshez kapcsolódó munkák

A 3.1. szakaszban soroltuk fel azokat a feladatokat, amelyek a betontechnológus és az építőgépész tevékenységét érintik. Ezek közül az alapanyagok tulajdonságait és hatásukat a betonok tulajdonságaira nem tárgyaljuk, mert bár ebbe a tevékenységi területbe tartoznak, de a 3.2. és 3.3. szakaszokban már érintettük. Nem lehet ugyani s pl. tűzálló betont készíteni anélkül, hogy ne tájékozódnánk az alapanyagok hatásáról. Az ezen a téren végzett laboratóriumi kutatásaink eredményeinek a felhasználásával készíthettük el a MÉASZ ME-04.19:1995 előírás 3. „A beton alapanyagai című fejezetét.

3.4.1. A beton összetételének a tervezése

A beton összetételének tervezési alapja Abrams óta (1920) a víz és a cement tömegaránya: a víz/cement tényező, amelynek összefüggése a beton nyomószilárdságával ma már közismert és számos vizsgálattal igazolva van. Igaz ez akkor is, ha az összefüggést először Zielinszky Szilárd állapította meg. Bár nyolcvan éve alkalmazzuk, de még ma is nehézségekkel találkozunk, ha adott esetben ezt az összefüggést alkalmazni akarjuk. A nehézségek egy része abból származik, hogy a megfelelő tulajdonságú (összetartóképességű, szállíthatóságú, tömöríthetőségű stb.) betonkeverékhez adagolt víz mennyisége az adalékanyag pontos szemeloszlásától, a cement fajtájától és a cement: adalékanyag tömegarányától függ, ezért meghatározása a gyakorlatban kissé nehézkes, másrészt abból, hogy még az azonos gyárból származó cementekkel adott víz/cement tényezővel elért nyomószilárd-

ság sem állandó, hanem a cement óhatatlan minőségingadozását követve változó. Ezért még ma is foglalkozunk az összetétel tervezés módszereivel.

További gondokat okoz az a tény, hogy ma már nem a beton nyomószilárdsága van elsősorban előírva, hanem a környezeti hatásokkal szembeni ellenállása, amely ugyan a beton pórusstruktúrájának, tehát szintén azt ezt meghatározó víz/cement tényezőnek a függvénye, de a pontos összefüggéseket még nem sikerült egyértelműen tisztázni. Ezért a betonösszetétel tervezésének a módszerét még a jövőben is vizsgálni kell.

Laboratóriumunk már kezdettől fogva foglalkozott a vízigény, valamint a víz/cement tényező és a nyomószilárdság összefüggésének a meghatározásával (1952-54) és az első javaslatot is összeállította, de a vizsgálatok ma is folynak. A *Laboratórium* legfontosabb eredményeit a következőkben lehet összefoglalni:

a) Abrams az x víz/cement tényező és az f_{cm} átlagos nyomószilárdság között hatványfüggvény szerinti összefüggést talált, amelynek exponenciális alakja: $f_{cm} = A \,.\, exp\,(-B \,.\, x)$, ahol A és B kísérleti állandók (értékük elsősorban a cementtől függ). A saját vizsgálataink kimutatták, hogy csak a víz/cement tényező x^n alakban való behelyettesítése követi szabatosan az $x - f_{cm}$ összefüggést, ahol n = 1 vagy $\neq$ 1 és lehet kisebb vagy nagyobb, mint 1;

b) a víz/cement tényezőn kívül a nyomószilárdság attól is függ, hogy mekkora a cementpép tartalom (az ún. péptelítettség). Változatlan víz/cement tényező mellett ugyanis a szilárd, jól tömörített közönséges betonban a pórustartalom annál nagyobb, minél nagyobb a cementkőváz térfogata (mert a kavics vagy a zúzottkő pórustartalma ~ 0, csak a cementkőváz tartalmaz gélpórust és kapilláris pórust). Márpedig a szilárdság a porozitással összefügg;

c) a tartósság főleg attól függ, hogy a káros oldatok behatolhatnak-e a betonba és karbonátosodhat-e a cementkő. Minél kevesebb a kapilláris pórustartalom és minél jobban csökken e pórusok összekapcsoltsága, átjárhatósága, annál kevésbé képes egy oldat a betonba hatolni vagy pl. a káros CO_2 a betonba diffundálni;

d) a bedolgozhatósághoz szükséges vízadagolást (a keverék vízigényét) az adalékanyag finomsági modulusa, egyenlőtlenségi együtthatója és agyag-iszap tartalma, a cement fajlagos felülete és az adalékanyag : cement tömegaránya határozza meg, amelyre a kísérletek alapján matematikai összefüggések voltak kidolgozhatók.

A kutatásaink 1970-2002 évben is folytatódtak és az általunk kidolgozott eljárást egyre pontosabbá tehettük. Gyakorlati alkalmazását még 1986 évben a Somogymegyei ÁÉV kezdte, majd a kilencvenes évektől kezdve több betongyártó cég alkalmazta (pl. északpesti Betongyár, ASA Hódmezővásárhely), megfelelő eredménnyel. A *Laboratórium* vizsgálatai lehetővé tették sikeres MTA doktori disszertáció elkészítését, amely a beton összetétele és struktúrája tervezését foglalta össze (1990).

3.4.2. A készítés módjának (keverés, szállítás, bedolgozás) megválasztása

A betonkeverék készítési technológiáját és bedolgozásának módját folyamatosan vizsgálni és fejleszteni kell, mert egyre újabb és újabb követelményeket kell kielégíteni a szerkezetek készítési idejének lerövidítésében és költségeinek csökkentésében. Az ezzel kapcsolatos tevékenység – részben az ÉTI Építésgépesítési tagozatával együttműködve – a *Laboratóriumnak* kezdettől fogva kötelessége volt.

Már 1954 évben foglalkoztunk a betonok utóvibrálásának a lehetőségével, azaz a bedolgozott friss beton néhány órás pihentetés utáni ismételt tömörítésével annak érdekében, hogy az esetleges vérzés következményeit megszüntessük. Ezeket laboratóriumi a kísérleteket adalékszerek alkalmazásával (képlékenyítő, kötéskésleltető) időnként megismételtük, s 1974 évben eljutottunk az ipari bevezetésig is.

Az ÉTI szentendrei telepén ekkor épült a 600 m^2 alapterületű, 25 m magasságú törőcsarnok, amelynek födémén voltak átvezetve a födém alatt elhelyezett és a födém alsó felületére támaszkodó törőberendezések terhelését közvetítő rudazatok. A csarnokban háromszintes vasbeton szerkezetű épület teljes méretű terhelési vizsgálatára volt lehetőség. A födém 100 cm vastagságú volt s annak érdekében, hogy repedésmentességet és egyenletes betonszilárdságot (mai jelöléssel C 40/50) lehessen elérni, a betonkeverékeket kötéslassítóval és képlékenyítővel készítettük olyan módon megtervezve, hogy a 600 m^3 beton egyszerre kezdjen el kötni, az utolsó adag beöntését követő 4. órában. Ezért mód nyílt a teljes betontömeg utóvibrálására is. A beton a Mélyépítő V. Északpesti betongyárában készült, az első 6 m^3 keverék reggel 6 órakor, a századik 6 m^3 keverék 18 órakor s a betont mixerkocsik folyamatosan szállították a födémhez. A kifogástalanul sikerült födém ma is megtekinthető.

A kézielemek készítéséhez speciális vibroprés-gépek, a közép- és nagyblokkok készítéséhez zsalurázó vibrátorokkal ellátott, az azonnali kizsaluzást lehetővé tevő nyitható zsaluzatok voltak szükségesek. A megfelelő bedolgozhatóságú és azonnal kizsaluzható, a 0,3 m széles és 1,5 m magas, 1,5 és 3 m hosszú elemekhez alkalmazható betonkeverékek alapanyagait és összetételét ismételt laboratóriumi vizsgálatok eredményeképpen sikerült megválasztani 1956-1968 években. Az ipari gyártásról a 3.3.6. szakaszban tettünk említést.

A normálbetonok legkedvezőbb vibrálási feltételeinek a vizsgálatát 1962 évben kezdtük el és hosszú időn át ismételten foglalkoztunk ezzel a problémával. Egyrészt a tömöríthető, összetartóképes, vérzésmentes, alakítható betonkeverékek követelményeit kellett megállapítanunk, másrészt a beton és a tömörítés kölcsönhatásával kellett foglalkoznunk. Erre egyrészt az előregyártó üzemek felkérésére vállalkoztunk (1964-69), másrészt azért, hogy a minőség-ellenőrzés céljára készített próbatestek – beleértve a kísérleti próbatesteket is – optimális tömörségét elérhessük. Ha ugyanis a kísérletek céljára készített próbatestek nincsenek megfelelően tömörítve, akkor a vizsgálati eredményekből levont következtetések félrevezetők lehetnek. Ez utóbbi vizsgálataink vezettek el oda, hogy igazolni tudtuk: minden 1 térfogat %, a hiányos tömörítés miatt képződött többlet-légtartalom a beton nyomószilárdságát kb. 5 %-kal csökkenti. Ebből következik, hogy olyan betonkeverékkel, amelynek nyomószilárdsága levegőmentes állapotban 50 N/mm^2 , a nem kielégítő tömörítés miatt kialakult 2, 4, 6 vagy 8 térfogat % légtartalom mellett rendre csak 45, 40, 35 vagy 30 N/mm^2 a nyomószilárdság (1978-82). Ennek viszont az a következménye, hogy az egyébként jóminőségű beton átvételét a hibás tömörítés miatti gyenge vizsgálati eredmények következtében visszautasíthatják. Ezeket a következtetéseinket betongyári vizsgálatokkal is alátámaszthattuk.

A laboratóriumi eredményeink és az üzemi tapasztalataink alapján fogalmazhattuk meg a MÉASZ Me-04.19:1995 előírás 5.8. „A beton tömörítése” című fejezetét.

A bedolgozott friss beton tömörségét tovább lehet növelni különböző módszerekkel. Egyik ilyen módszer a beton vákuumkezelése: a beton bedolgozott felületére helyezett pára- és légzáró burkolat alatt létrehozott légritkítás hatására a felesleges víz a betonból kiszívható, eltávolítható, aminek következtében a tömörség javítható. A módszer megalapozásának a laboratóriumi vizsgálatait 1960 évben kezdtük el, a vákuumkezelés ipari bevezetéséhez szükséges első műszaki előírást 1961 évben állítottuk össze, de már 1962 évben folytattuk a módszer fejlesztéséhez szükséges kutatásokat.

A további vizsgálatok és ipari tapasztalatok (pl. a TREMIX berendezés beüzemelése, 1977) alapján készítettük el a MÉASZ ME-04.19:1995 előírás 18. „Vákuumbetonok” című fejezetét.

A friss betonkeverék szállítását befolyásoló tényezők vizsgálata a transzportbeton üzemek hazai létesítésének előkészítéséhez volt szükséges. Kísérleteinket a billenőteknős, majd a kavaró, illetve keverő gépkocsikban szállítható betonösszetételekkel kezdtük el, majd a szállítás időtartamát, a betonkeverékek eltarthatóságát befolyásoló tényezőkkel folytattuk (1960-62). E vizsgálatok adtak alapot az első transzportbeton műszaki előírás elkészítéséhez (1963). Az ezen a területen a transzportbeton üzemekkel közösen folytattuk a laborató-

riumi és a félüzemi kísérleteinket (1965-85), sokféle szállító eszköz ellenőrzésével (cseppalakú tartályok, betonszállító konténerek, kavaró gépkocsik, különböző típusú mixerkocsik). Kidolgoztuk a betonszilárdsági adattár alapjait is, amelybe a budapesti transzportbeton üzemek gyártásközi vizsgálati eredményeit gyűjtöttük össze és évente értékeltük (1979-1985). Laboratóriumunk szervezte meg a hetvenes években a budapesti transzportbeton üzemek műszaki együttműködését – részben az adattárban összegyűjtött eredményekre támaszkodva – , amelyből 1982 évben a Budapesti Transzportbeton Egyesülés, 1996 évben kibővítve a Magyar Betonszövetség alakult ki.

Vizsgálataink és ipari tapasztalataink birtokában készítettük el az MI 562:1992 számú Műszaki Irányelvet a transzportbetonok alapanyagaira, készítésére, szállítására, gyártásközi minőségvizsgálatára és tanúsítására.

3.4.3. A beton szilárdulásának környezeti feltételei

A betont általában + 10 és + 30 °C közötti hőmérsékleten készítik, tulajdonságait is ebben a hőmérséklettartományban vizsgáljuk. Szükség van azonban azokra az ismeretekre is, amelyek lehetővé teszik a betonozást hidegebb vagy melegebb környezeti hőmérsékleten is. Az idevágó laboratóriumi vizsgálatokat már 1953 évben elkezdtük (+ 5 °C hőmérséklet) és kisebb-nagyobb megszakításokkal mind a mai napig folytattuk.

A betonkeverékeket – más lehetőségek hiányában – télen és nyáron végeztük, a szabadban. Ennek az volt a hátránya, hogy állandó, változatlan környezet nem tudtunk létrehozni, de ugyanakkor az volt az előnye, hogy természetes feltételek mellett végeztük a vizsgálatainkat. Eredményeinket, mint más esetben, ipari bevezetés során is ellenőriztük (téli vakolási munkák cementes habarcsokkal, 1962; budafoki 11 szintes épület, 1966; térzsalus építkezés, Komárom, 1970; 200 m magas kémény, Százhalombatta, 1971; K/2 jelű kémény, Százhalombatta, 1972; Hűtőtorony építkezés, Bicske, 1980.

Laboratóriumi vizsgálataink és ipari tapasztalataink alapján készítettük el a MÉASZ ME-04.19:1995 előírás 20. „Beton készítése hideg időben” és 21. Beton készítése meleg időben” c. köteteit.

3.4.4. A beton szilárdulása és utókezelése

A cement hidratációjához nedves környezetre van szükség, a szilárdulás gyorsításához magasabb hőmérséklet, esetleg nyomás alatti mesterséges szilárdítás szükséges. A legfeljebb + 80 °C hőmérsékletű mesterséges érlelés párával telített térben a gőzölés, amely a beton pihentetését, lassú felfűtését, néhány órás hőntartását, majd lassú lehűtését jelenti. Az érlelés teljes időtartama 8-16 óra lehet. Másik módszere a gyors felfűtés legfeljebb + 120 °C-ra, néhány órás hőntartás, majd lassú lehűtés. Ennek a gyorsérlelésnek a teljes időtartama 4-8 óra lehet. A harmadik módszer a nyomás alatti érlelés (6-8 atm, kb. + 180 °C), az ún. autoklávolás, amelynek időtartama a gyorsérleléssel azonos. Ezen túlmenően a mesterséges érlelés keretében vizsgáltuk az ún. melegbeton technológiát, amely a sablon párazáró kialakítását igényli (meleglevegős érlelés).

A háború utáni újjáépítés egyik lényeges követelménye volt a betonszerkezetek készítésének a meggyorsítása. Ezért laboratóriumunk már az ötvenes ével elején elkezdte az autoklávolási technológiát befolyásoló tényezők laboratóriumi kutatását, amelynek eredményeit az ötvenes évek elején elkezdődött metró-építés vasbeton tübingjeinek az előregyártásához hasznosították (1951-56)

A gőzölési technológia fejlesztését mindenekelőtt az ötvenes évek elején létesülő új előregyártó üzemek termelékenységének a javítása, a gyors sablonforduló elérése érdekében kellett elkezdeni. Laboratóriumunk első eredménye a felületi modulus és a gőzölési hatásfok összefüggésének a megállapítása, illetve a különböző cementekkel készített gőzölt betonok szilárdságának a vizsgálata volt (1953). Ezt követte a gőzölés folyamatot jellemző

ún. gőzölési diagram hatásának vizsgálata a gőzölt betonok tulajdonságaira (1954-56), a gyorsgőzölési technológia fejlesztése (1956), az érlelés vizsgálata 120 °C hőmérsékleten (1957). Vizsgáltuk a nagy kezdőszilárdságú cementek gőzölhetőségét (1959), könnyűbeton hőérlelésének feltételei és eredményei (1960-87), gőzölt betonok utószilárdulásának a vizsgálata (1969), a melegbeton alkalmazási lehetőségeinek ée az elérhető eredményeknek a vizsgálata (1979-83).

A laboratóriumi vizsgálatok eredményeit már kezdettől fogva bevezettük az iparba: tübinggyártáa, 1953-54; lábatlani feszített vasbeton alj gyártás , 1958- 65; Bp. 1.sz. Épületelemgyár, 1959; bányaidomkő gyártás, Hird, 1960; perlitbeton gőzölés, Parafakőgyár, 1961; Bp. 1. sz. Házgyár, csoportzsalus érlelés, 1966; Bp., Gyáli úti üzem, 1967; panelpoligon, Szolnok, 1969; előfeszített hídgerendák gyártása , 1972; szegedi Házgyár, 1977; alagútzsalus építkezések, melegbeton, 1982.

Az elvégzett laboratóriumi vizsgálatok eredményei és ipari tapasztalatok alapján állítottuk össze a MÉASZ Me-04.19:1995 előírás 22. „Hőérlelt betonok” című kötetét.

3.4. A betonok vizsgálata, minőségellenőrzése, készítése

3.5.1. A vizsgálati módszerek ellenőrzése, fejlesztése

A kutatás-kísérleti tevékenység, valamint a beton alapanyagainak, a friss betonkeverékeknek és a szilárd betonoknak a minősítése során több esetben lehet észlelni problémákat a vizsgálat előírt módon való végrehajtásában, ezért esetenként foglalkoztunk a vizsgálati módszerek ellenőrzésével, illetve pontosításával.

A beton konzisztenciájának és adalékanyagának vizsgálatára használt laboratóriumi és építéshelyi módszereket (1953-54) (1961) (1974), a kisméretű falazótéglák minősítési eljárásait (1954), a közép- és nagyblokkok minősítési eljárásait (1959), a cement gőzölhetőségének szabványos vizsgálatát (1968) ellenőriztük, illetve dolgoztuk ki. Foglalkoztunk a könnyűbetonok vizsgálati módszereinek (1974), általában a laboratóriumi vizsgáló berendezéseknek (1982), a cementvizsgálat gyors módszerének (1983), a struktúra vizsgálat eszközeinek (1991-93) a fejlesztésével.

A laboratóriumi és építéshelyi minősítő vizsgálatok megbízhatóságának az ellenőrzését már 1953-54 években elkezdtük a vizsgálati eredmények matematikai-statisztikai elemzésével (ezt 1978-79 években ismételtük meg), a megbízható gyártásközi ellenőrzés érdekében a Budapesti Transzportbeton Társaság tagvállalatai számára gyakorlatokkal egybekötött oktatást tartottunk 1983-84 években. A különböző minőségellenőrzési vizsgálatok (adalékanyag szemeloszlás, agyag-iszap tartalom, betonkeverék konzisztencia, próbatestek készítése és vizsgálata stb.) pontosságának és torzításának felmérése érdekében szerveztük meg 15-18 laboratórium részvételével az ISO 5725:1994, valamint az ISO/IEC Guide 43-1 és –2:1996 szabványok szerinti jártassági vizsgálatokat (1995-99). Ezek egyrészt a laboratóriumok vizsgálatokra való alkalmasságának, felkészültségének, másrészt a vizsgálati módszerek hatékonyságának az ellenőrzésére voltak alkalmasak. Többek között megállapíthattuk, hogy a beton kockaszilárdságának vizsgálati eljárása során a módszer ún. többlaboratóriumi pontossága valamivel több, mint $\pm$ 2 N/mm^2. Ez viszont azt jelenti, hogy a minősítő szilárdságvizsgálatokból levont következtetések (átvétel vagy visszautasítás) alkalmával ezt a pontosságot is figyelembe kell venni.

3.5.2. Műszaki előírások készítése

Laboratóriumunk működésének kezdetétől foglalkozott az általános érvényességű műszaki előírások készítésével. Kezdetben – 1947 évig, amíg a laboratórium a fővároshoz tartozott – az előírások érvényessége a fővárosra korlátozódott (p. az 1939 évben elkészített, a beton-

munkák átvételére is vonatkozó „39. Fővárosi vállalkozási szabályok"), de az ÉTI megalakulásától előírásaink országosan kötelezővé váltak. A következő műszaki előírások készültek:

Műszaki előírás a gyorsgőzölésre (1955), limonit és hematit beton előállítására (1956), kohóhabsalak betonok készítésére (1959), perlitbetonok készítésére (1960), agyagkavics betonok készítésére (1960 és 1965), vákuumozott betonok készítésére (1961 és 1963), egyszemcsés öntött betonok készítésére (1961), betonok alapanyagaira, keverésére, szállítására, bedolgozására, utókezelésére, minőségének ellenőrzésére (folyamatos korszerűsítéssel: 1954, 1963, 1977, 1985 és 1995, transzportbetonok készítésére (folyamatos korszerűsítéssel: 1963, 1975, 19b2), adalékszeres szilárdulás gyorsításra (1964), habarcsok készítésére (1965, 1975),vízzáró betonokra (1973), vízépítési betonokra (1986), szivattyúzott betonokra (1993), sugárvédő betonokra (1993). Utolsó nagy munkánk az 1995 évben kiadott MÉASZ ME-04.19:1995 Műszaki Előírás – Beton és vasbeton készítése – 1. – 22. kötet volt.

Az MSZ EN 206-1:2002 európai szabvány honosítása az Európai Szabványbizottság (CEN) által a nemzeti hatáskörbe utalt ún. Nemzeti Alkalmazási Dokumentum elkészítését igényli. Ehhez 1998 óta folyamatosan végeztünk laboratóriumi vizsgálatokat pl. a törésig nedvesen, illetve 7 napig nedvesen, majd törésig szárazon utókezelt próbatestekkel elérhető eredmények összehasonlításra, az előírt szabványos betonok összetételének a meghatározására, a betonok utókezelését meghatározó 2/28 napos nyomószilárdságok arányának a felderítésére, a különböző környezeti hatásnak és igénybevételnek kitett betonok teljesítő képességének a meghatározására stb. Az ezzel kapcsolatos laboratóriumi munkák fontosak és remélhetőleg a következő időszakban az ehhez szükséges költségeket is elő lehet teremteni.

ZÁRSZÓ

Ezt az ismertetést Dr. Balázs György Professor Emeritus kérésére állítottam össze, hogy a magyar betonkutatás történetéről írt könyvében felhasználhassa a betontechnológiai kutatás-fejlesztés mintegy ötven éven át hazai bázisintézményének számító szervezetről készítendő ismertetéséhez.

Dr. Ujhelyi János

KÜLÖNBÖZŐ CEMENTEKKEL KÉSZÍTETT BETONKEVERÉKEK SZILÁRDULÁSI ÜTEME ÉS SZILÁRDSÁGBECSLŐ KÉPLETE

DR. UJHELYI JÁNOS

A vizsgálati eredmények összefoglalása

A vizsgálatok programját annak érdekében állítottuk össze, hogy

a) ellenőrizhessük a különböző időpontokban gyártott cementekkel készített beton-próbatestek 2, 28 és 90 napos korban várható nyomószilárdságának a változását,
b) kiszámíthassuk az elérhető átlagos nyomószilárdságokat, valamint a nyomószilárdságok szórását, illetve a variációs tényezőjét,
c) megállapíthassuk a 2 és 28 napos nyomószilárdságok arányát, amely az MSZ EN 206-1 szabvány szerint a betonok utókezelési időtartamára ad felvilágosítást,
d) megállapíthassuk a betonkeverékek utószilárdulását különböző víz/cement tényezők mellett 28 napról 90 napra s ezzel képet kaphassunk az adott cementet tartalmazó betonokkal megépített szerkezetek biztonságáról,
e) kiszámíthassuk az egyes cementfajtákra érvényes, megfelelő biztonsággal ajánlható szilárdságbecslő függvényeket.

Ha ezek, a cementeket felhasználó betonipar számára lényeges adatok ismertek, akkor a gyártók marketing-tevékenységükben hasznos tanácsokat adhatnak a felhasználóknak.

Munkatervünknek megfelelően a beküldött cementmintákkal – korábbi, hasznosnak bizonyult vizsgálati programunknak megfelelően – egy-egy vizsgálati szakaszban 0,35; 0,55 és 1,0 víz/cement tényezőjű betonkeverékeket és ezekből 15 cm élhosszúságú szabványos próbakockákat készítettünk Korábbi vizsgálataink alapján ugyanis kimutattuk (lásd például *Ujhelyi János: Betontechnológia I.-II. VIZDOK, 1985*), hogy ha ezzel a három víz/cement tényezővel készített betonok nyomószilárdságára hiteles adataink vannak, akkor szabatosan, nagy pontossággal lehet a szilárdságbecslő függvényeket kiszámítani (lásd például *Ujhelyi János: Betonismeretek. Egyetemi tankönyv. Műegyetemi Kiadó, Budapest, 2005*).

Elvégzett vizsgálataink eredményeit táblázatok tartalmazzák.

Ismeretes, hogy a próbatestek készítésekor még a leggondosabb tömörítés mellett sem lehet elérni a maradéktalan tömörséget. Ennek oka elsősorban a próbatestek kis térfogata, az emiatt erőteljesen érvényesülő *falhatás*, azaz a beton és a sablonfalnak a kedvezőtlen kölcsönhatása (lásd *Caquot,A.-Faury,J.: Annales de l'ITBTP, Paris, No.10. 1937*). A szilárdságok szabatos adatait ezért úgy lehet kiszámítani, hogy a kapott eredményeket 0 térfogat% levegőtartalmú betonra normalizáljuk, s ezzel kiküszöböljük az esetlegesen nem tökéletes tömörítés okozta kedvezőtlen, félrevezető hatásokat. A táblázatokban megadtuk a bedolgozott friss beton testsűrűségét, ebből kiszámítható az adott esetben elért tömörség (lásd a *friss beton légtartalom, liter/m³* oszlopban található adatokat). A számítás módszere *Ujhelyi J.: A bedolgozott friss beton tömörsége. Beton, XIV. évf. 9. szám, 2006. szeptember pp. 3-5.* cikkben található. A tömörség ismeretében határozható meg a tömör beton várható nyomószilárdsága (lásd a *0-ra normalizált nyomószilárdság* oszlopot). Ha R_o a levegőmentes és R a V_l *liter/m³* tömörítési hiány miatti levegőt tartalmazó beton nyomószilárdsága, akkor

$$R_o = R \times exp\,(0{,}035 \times (0{,}1 \times V_l)^{1,3}$$

képletből számítható ki a levegőmentes beton nyomószilárdsága (lásd *Ujhelyi J.: A beton levegőtartalmának a hatása. Magyar Építőipar, Budapest, 1980. 8.*).

Az értékeléshez az így kiszámított nyomószilárdságokat vettük figyelembe.

Az MSZ EN 206-1 a 2 és 28 napos nyomószilárdságok aránya alapján ítéli meg a betonkeverékek szilárdulásának az ütemét a következők szerint:

a szilárdulás üteme gyors, ha az arány:	≥ 0,5
a szilárdulás üteme közepes, ha az arány:	≥ 0,3-tól < 0,5
a szilárdulás üteme lassú, ha az arány:	≥ 0,15-től < 0,3
a szilárdulás üteme nagyon lassú, ha az arány:	< 0,15

A vizsgálatok eredményei alapján meg lehet állapítani, hogy a szilárdulás üteme nemcsak a cement fajtájától, hanem a betonkeverék víz/cement tényezőjétől is függ. Az alábbiakban összefoglaljuk, hogy az egyes cementekkel készített betonkeverékek szilárdulási üteme miképpen alakult. A következő rövidítéseket alkalmaztuk:

gy : a szilárdulás üteme gyors
k : a szilárdulás üteme közepes
l : a szilárdulás üteme lassú
nl : a szilárdulás üteme nagyon lassú

Cement jelölése:		*A szilárdulás üteme, ha a víz/cement tényező:*		
		0,35	*0,55*	*1,0*
„A” cementgyár,	CEM I 52,5 N	**gy**	**k**	**k**
	CEM I 42,5 N	**gy**	**k**	**l**
	CEM II/A-M 42,5 N	**k**	**k**	**l**
	CEM II/B-M 32,5 R	**k**	**k**	**l**
„B” cementgyár,	CEM I 52,5 N	**gy**	**gy**	**k**
	CEM I 42,5 R	**gy**	**k**	**k**
	CEM II/A-S 42,5 N	**k**	**k**	**k**
	CEM II/B-S 32,5 R	**k**	**l**	**nl**
	CEM II/B-M 32,5 N	**k**	**l**	**l**
	CEM III/A 32,5 N	**k**	**l**	**nl**
	CEM V/A 32,5 N	**k**	**l**	**nl**
„C” cementgyár,	CEM I 32,5 RS	**k**	**k**	**l**
	CEM II/A-V 32,5 RS	**k**	**k**	**k**
	CEM II/A-S 32,5 RS	**gy**	**k**	**k**
	CEM II/B-V 32,5 R	**k**	**k**	**k**
	CEM II/B-V 32,5 N	**k**	**k**	**k**
„D” cementgyár,	CEM I 52,5 N	**gy**	**k**	**k**
	CEM I 42,5 N	**gy**	**k**	**k**
	CEM II/A- 42,5 N	**gy**	**k**	**k**
	CEM II/B-S 32,5 R	**k**	**k**	**k**
	CEM II/B-M 32,5 N	**l**	**l**	**l**
	CEM III/A 32,5 N	**k**	**l**	**nl**
	CEM III/B 32,5 NS	**l**	**l**	**nl**
	CEM V/A 32,5 N	**l**	**l**	**nl**

Az MSZ EN 206-1 szabvány nem osztályozza az utószilárdulás mértékét 28 napról 90 napra, holott a beton és vasbeton szerkezetek biztonságát ez az arány befolyásolja: minél nagyobb az utószilárdulás mértéke, annál szilárdabbá válik a beton 3 hónapos korában, annál nagyobb biztonsággal képes elviselni a terheket. Az utószilárdulás mértékének az ismerete a beépített beton minőségének a későbbi megítélését is elősegíti, mert ennek alapján becsülhető a felhasznált betonkeverék szállításkori megfelelősége (ez hónapokkal a beépítés után is lehe-

tővé teszi azt, hogy a több hónapos korban mért szilárdságból következtetni lehessen a 28 napos nyomószilárdságra). Az eredményeket a 90/28 napos nyomószilárdságok arányából kiindulva az alábbiak szerint értékeltük:

csekély az utószilárdulás, ha az arány :	< 1,1	(jele: **cs.sz.**)
számottevő az utószilárdulás, ha az arány:	1,1 – 1,24	(jele: **sz.sz.**)
jelentős az utószilárdulás, ha az arány:	1,25 – 1,4	(jele: **j.sz.**)
nagy az utószilárdulás, ha az arány:	> 1,4	(jele: **n.sz.)**

A vizsgálatok eredményei alapján meg lehet állapítani, hogy az utószilárdulás mértéke nemcsak a cement fajtájától, hanem a betonkeverék víz/cement tényezőjétől is függ. Az alábbiakban összefoglaljuk, hogy az egyes cementekkel készített betonkeverékek szilárdulási üteme miképpen alakult.

Cement jelölése:		*Az utószilárdulás mértéke, ha a víz/cement tényező:*		
		0,35	*0,55*	*1,0*
„A” cementgyár,	CEM I 52,5 N	**sz.sz.**	**j.sz.**	**n.sz.**
	CEM I 42,5 N	**sz.sz.**	**sz.sz.**	**j.sz.**
	CEM II/A-M 42,5 N	**j.sz.**	**n.sz.**	**n.sz.**
	CEM II/B-M 32,5 R	**sz.sz.**	**sz.sz.**	**n.sz.**
„B” cementgyár,	CEM I 52,5 N	**sz.sz.**	**j.sz.**	**j.sz.**
	CEM I 42,5 R	**j.sz.**	**j.sz.**	**n.sz.**
	CEM II/A-S 42,5 N	**sz.sz.**	**j.sz.**	**j.sz**
	CEM II/B-S 32,5 R	**sz.sz.**	**n.sz.**	**n.sz.**
	CEM II/B-M 32,5 N	**n.sz.**	**j.sz.**	**n.sz.**
	CEM III/A 32,5 N	**j.sz.**	**n.sz.**	**n.sz.**
	CEM V/A 32,5 N	**sz.sz.**	**j.sz.**	**n.sz.**
„C” cementgyár,	CEM I 32,5 RS	**j.sz.**	**j.sz.**	**n.sz.**
	CEM II/A-V 32,5 RS	**j.sz.**	**n.sz.**	**n.sz.**
	CEM II/A-S 32,5 RS	**j.sz.**	**n.sz.**	**n.sz.**
	CEM II/B-V 32,5 R	**j.sz.**	**j.sz.**	**n.sz.**
	CEM II/B-V 32,5 N	**n.sz.**	**n.sz.**	**n.sz.**
„D” cementgyár,	CEM I 52,5 N	**sz.sz.**	**sz.sz.**	**n.sz.**
	CEM I 42,5 N	**j.sz.**	**j.sz.**	**n.sz.**
	CEM II/A- 42,5 N	**j.sz.**	**j.sz.**	**n.sz.**
	CEM II/B-S 32,5 R	**j.sz.**	**n.sz.**	**n.sz.**
	CEM II/B-M 32,5 N	**j.sz.**	**j.sz.**	**n.sz.**
	CEM III/A 32,5 N	**n.sz.**	**n.sz.**	**n.sz.**
	CEM III/B 32,5 NS	**j.sz.**	**n.sz.**	**n.sz.**
	CEM V/A 32,5 N	**j.sz.**	**j.sz.**	**n.sz.**

Mind a szilárdulás ütemével, mind az utószilárdulás mértékével kapcsolatos vizsgálatok eredményeihez meg kell jegyezni, hogy azok csak tájékoztatásra alkalmasak, mert

- laboratóriumi körülmények között (20-25 ^{o}C környezeti hőmérséklet mellett) készített 3,4 dm^{3} térfogatú kockák vizsgálatából származnak. Nagyobb tömegű betonban és más környezeti hőmérséklet mellett ezektől eltérő szilárdulási ütem, vagy utószilárdulás várható;
- a vizsgálataink nem voltak alkalmasak szabatos matematikai-statisztikai értékelésre, mert ahhoz legalább 6, különböző időpontokban gyártott cementekből származó minta lett volna szükséges.

A fentiek miatt az adatokat a marketing-tevékenységben csak nagyvonalú tájékoztatásra szabad felhasználni.

A szilárdságbecslő képletek számítását a következőkben foglaljuk össze.

„A" cementgyár, CEM I 52,5 N jelű cement:

2 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	39 N/mm^2	2/28 = 0,6
	x = 0,55 mellett	20 N/mm^2	0,49
	x = 1,0 mellett	5 N/mm^2	0,42
28 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	65 N/mm^2	
	x = 0,55 mellett	41 N/mm^2	
	x = 1,0 mellett	12 N/mm^2	
90 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	78 N/mm^2	90/28 = 1,2
	x = 0,55 mellett	57 N/mm^2	1,39
	x = 1,0 mellett	23 N/mm^2	1,92

A szilárdságbecslő képlet számításának segédtényezői:

2 napos korra:	α = 39/5 = 7,8	β = 20/39 = 0,51	n = 0,82
28 napos korra:	α = 65/12 = 5,4	β = 41/65 = 0,63	n = 1,3
90 napos korra:	α = 78/23 = 3,4	β = 57/78 = 0,77	n = 1,45

A szilárdságbecslő képletek:

2 napos korra: $f_c = 175{,}6 \times \exp(-3{,}56 \times x^{0{,}82})$

28 napos korra: $f_c = 116{,}1 \times \exp(-2{,}27 \times x^{1{,}3})$

90 napos korra: $f_c = 109{,}7 \times \exp(-1{,}56 \times x^{1{,}45})$

„A" cementgyár, CEM I 42,5 N jelű cement:

2 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	40 N/mm^2	2/28 = 0,61
	x = 0,55 mellett	21 N/mm^2	0,43
	x = 1,0 mellett	4 N/mm^2	0,25
28 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	66 N/mm^2	
	x = 0,55 mellett	49 N/mm^2	
	x = 1,0 mellett	16 N/mm^2	
90 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	75 N/mm^2	90/28 = 1,14
	x = 0,55 mellett	60 N/mm^2	1,22
	x = 1,0 mellett	22 N/mm^2	1,38

A szilárdságbecslő képlet számításának segédtényezői:

2 napos korra:	α = 40/4 = 10,0	β = 21/40 = 0,525	n = 1,22
28 napos korra:	α = 66/16 = 4,29	β = 49/66 = 0,73	n = 1,9
90 napos korra:	α = 75/22 = 3,4	β = 60/75 = 0,8	n = 2,2

A szilárdságbecslő képletek:

2 napos korra: $f_c = 94{,}3 \times \exp(-3{,}09 \times x^{1{,}22})$

28 napos korra: $f_c = 83{,}6 \times \exp(-1{,}69 \times x^{1{,}9})$

90 napos korra: $f_c = 85{,}9 \times \exp(-1{,}36 \times x^{2{,}2})$

„A” cementgyár, CEM II/A-M 42,5 N jelű cement:

2 napos átlagos nyomószilárdság:	$x = 0{,}35$ mellett	25 N/mm^2	2/28 = 0,42
	$x = 0{,}55$ mellett	13 N/mm^2	0,34
	$x = 1{,}0$ mellett	3 N/mm^2	0,25
28 napos átlagos nyomószilárdság:	$x = 0{,}35$ mellett	60 N/mm^2	
	$x = 0{,}55$ mellett	38 N/mm^2	
	$x = 1{,}0$ mellett	12 N/mm^2	
90 napos átlagos nyomószilárdság:	$x = 0{,}35$ mellett	75 N/mm^2	90/28 = 1,25
	$x = 0{,}55$ mellett	54 N/mm^2	1,42
	$x = 1{,}0$ mellett	18 N/mm^2	1,5

A szilárdságbecslő képlet számításának segédtényezői:

2 napos korra:	$\alpha = 25/3 = 8{,}3$	$\beta = 13/25 = 0{,}52$	$n = 0{,}9$
28 napos korra:	$\alpha = 60/12 = 5{,}0$	$\beta = 38/60 = 0{,}63$	$n = 1{,}2$
90 napos korra:	$\alpha = 75/18 = 4{,}17$	$\beta = 54/75 = 0{,}72$	$n = 1{,}75$

A szilárdságbecslő képletek:

2 napos korra: $f_c = 96{,}3 \times \exp(-3{,}47 \times x^{0,9})$

28 napos korra: $f_c = 113{,}5 \times \exp(-2{,}25 \times x^{1,2})$

90 napos korra: $f_c = 98{,}3 \times \exp(-1{,}7 \times x^{1,75})$

„A” cementgyár, CEM II/B-M 32,5 R jelű cement:

2 napos átlagos nyomószilárdság:	$x = 0{,}35$ mellett	26 N/mm^2	2/28 = 0,39
	$x = 0{,}55$ mellett	11 N/mm^2	0,31
	$x = 1{,}0$ mellett	2 N/mm^2	0, 22
28 napos átlagos nyomószilárdság:	$x = 0{,}35$ mellett	66 N/mm^2	
	$x = 0{,}55$ mellett	35 N/mm^2	
	$x = 1{,}0$ mellett	9 N/mm^2	
90 napos átlagos nyomószilárdság:	$x = 0{,}35$ mellett	76 N/mm^2	90/28 = 1,15
	$x = 0{,}55$ mellett	46 N/mm^2	1,23
	$x = 1{,}0$ mellett	14 N/mm^2	1,56

A szilárdságbecslő képlet számításának segédtényezői:

2 napos korra:	$\alpha = 26/2 = 13{,}0$	$\beta = 11/26 = 0{,}42$	$n = 0{,}6$
28 napos korra:	$\alpha = 66/9 = 7{,}33$	$\beta = 35/66 = 0{,}53$	$n = 0{,}9$
90 napos korra:	$\alpha = 76/14 = 5{,}43$	$\beta = 46/76 = 0{,}605$	$n = 1{,}08$

A szilárdságbecslő képletek:

2 napos korra: $f_c = 483{,}7 \times \exp(-5{,}49 \times x^{0,6})$

28 napos korra: $f_c = 234{,}3 \times \exp(-3{,}26 \times x^{0,9})$

90 napos korra: $f_c = 169{,}6 \times \exp(-2{,}49 \times x^{1,08})$

„A” cementgyár, CEM II/B-M 32,5 N jelű cement:

A cementszállítmány első részét – késői beküldés miatt – nem lehetett hiteles módon megvizsgálni. A cementszállítmány második részének egyetlen vizsgálati eredménysora viszont statisztikailag nem értékelhető.

„B” cementgyár, CEM I 52,5 N jelű cement:

2 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	47 N/mm^2	2/28 = 0,69
	x = 0,55 mellett	23 N/mm^2	0,52
	x = 1,0 mellett	6 N/mm^2	0,33
28 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	68 N/mm^2	
	x = 0,55 mellett	44 N/mm^2	
	x = 1,0 mellett	18 N/mm^2	
90 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	78 N/mm^2	90/28 = 1,15
	x = 0,55 mellett	55 N/mm^2	1,25
	x = 1,0 mellett	23 N/mm^2	1,28

A szilárdságbecslő képlet számításának segédtényezői:

2 napos korra:	α = 47/6 = 7,83	β = 23/47 = 0,489	n = 0,72
28 napos korra:	α = 68/18 = 3,78	β = 49/66 = 0,647	n = 0,85
90 napos korra:	α = 78/23 = 3,39	β = 55/78 = 0,705	n = 1,2

A szilárdságbecslő képletek:

2 napos korra: $f_c = 290{,}8 \times \exp(-3{,}88 \times x^{0{,}72})$

28 napos korra: $f_c = 171{,}1 \times \exp(-2{,}25 \times x^{0{,}85})$

90 napos korra: $f_c = 126{,}5 \times \exp(-1{,}7 \times x^{1{,}2})$

„B” cementgyár, CEM I 42,5 R jelű cement:

2 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	39 N/mm^2	2/28 = 0,64
	x = 0,55 mellett	19 N/mm^2	0,46
	x = 1,0 mellett	5 N/mm^2	0,33
28 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	61 N/mm^2	
	x = 0,55 mellett	41 N/mm^2	
	x = 1,0 mellett	15 N/mm^2	
90 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	79 N/mm^2	90/28 = 1,3
	x = 0,55 mellett	56 N/mm^2	1,37
	x = 1,0 mellett	22 N/mm^2	1,47

A szilárdságbecslő képlet számításának segédtényezői:

2 napos korra:	α = 39/5 = 7,8	β = 19/39 = 0,487	n = 0,57
28 napos korra:	α = 61/15 = 4,07	β = 41/61 = 0,67	n = 1,23
90 napos korra:	α = 79/22 = 3,59	β = 56/79 = 0,709	n = 1,52

A szilárdságbecslő képletek:

2 napos korra: $f_c = 478{,}7 \times \exp(-4{,}56 \times x^{0{,}57})$

28 napos korra: $f_c = 103{,}8 \times \exp(-1{,}93 \times x^{1{,}23})$

90 napos korra: $f_c = 109{,}4 \times \exp(-1{,}6 \times x^{1{,}52})$

„B" cementgyár, CEM II/A-S 42,5 N jelű cement:

2 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	28 N/mm^2	2/28 = 0,49
	x = 0,55 mellett	14 N/mm^2	0,37
	x = 1,0 mellett	5 N/mm^2	0,33
28 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	57 N/mm^2	
	x = 0,55 mellett	38 N/mm^2	
	x = 1,0 mellett	15 N/mm^2	
90 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	70 N/mm^2	90/28 = 1,23
	x = 0,55 mellett	51 N/mm^2	1,34
	x = 1,0 mellett	21 N/mm^2	1,4

A szilárdságbecslő képlet számításának segédtényezői:

2 napos korra:	α = 28/5 = 5,6	β = 14/28 = 0,5	n = 0,22
28 napos korra:	α = 57/15 = 3,8	β = 38/57 = 0,67	n = 1,08
90 napos korra:	α = 70/21 = 3,33	β = 51/70 = 0,729	n = 1,4

A szilárdságbecslő képletek:

2 napos korra: $f_c = 21228,1 \times exp\,(-\,8,35 \times x^{0,22})$

28 napos korra: $f_c = 107,4 \times exp\,(-\,1,97 \times x^{1,08})$

90 napos korra: $f_c = 100,3 \times exp\,(-\,1,56 \times x^{1,4})$

„B" cementgyár, CEM II/B-S 32,5 R jelű cement:

2 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	24 N/mm^2	2/28 = 0,44
	x = 0,55 mellett	9 N/mm^2	0,29
	x = 1,0 mellett	1 N/mm^2	0,10
28 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	55 N/mm^2	
	x = 0,55 mellett	31 N/mm^2	
	x = 1,0 mellett	10 N/mm^2	
90 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	66 N/mm^2	90/28 = 1,2
	x = 0,55 mellett	46 N/mm^2	1,48
	x = 1,0 mellett	16 N/mm^2	1,6

A szilárdságbecslő képlet számításának segédtényezői:

2 napos korra:	α = 24/1 = 24	β = 9/24 = 0,375	n = 1
28 napos korra:	α = 55/10 = 5,5	β = 31/55 = 0,56	n = 0,7
90 napos korra:	α = 66/16 = 4,125	β = 46/66 = 0,697	n = 1,48

A szilárdságbecslő képletek:

2 napos korra: $f_c = 132,9 \times exp\,(-\,4,89 \times x)$

28 napos korra: $f_c = 264,6 \times exp\,(-\,3,28 \times x^{0,7})$

90 napos korra: $f_c = 96,5 \times exp\,(-\,1,8 \times x^{1,48})$

„B” cementgyár, CEM II/B-M 32,5 N jelű cement:

2 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	20 N/mm^2	2/28 = 0,38
	x = 0,55 mellett	9 N/mm^2	0,26
	x = 1,0 mellett	2 N/mm^2	0,18
28 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	52 N/mm^2	
	x = 0,55 mellett	34 N/mm^2	
	x = 1,0 mellett	11 N/mm^2	
90 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	77 N/mm^2	90/28 = 1,48
	x = 0,55 mellett	44 N/mm^2	1,29
	x = 1,0 mellett	16 N/mm^2	1,45

A szilárdságbecslő képlet számításának segédtényezői:

2 napos korra:	α = 20/2 = 10	β = 9/20 = 0,45	n = 0,6
28 napos korra:	α = 52/11 = 4,73	β = 34/52 = 0,65	n = 1,3
90 napos korra:	α = 77/16 = 4,81	β = 44/77 = 0,57	n = 0,6

A szilárdságbecslő képletek:

2 napos korra: $f_c = 275{,}9 \times \exp(-4{,}93 \times x^{0,6})$
28 napos korra: $f_c = 88{,}6 \times \exp(-2{,}09 \times x^{1,3})$
90 napos korra: $f_c = 461{,}5 \times \exp(-3{,}36 \times x^{0,6})$

„B” cementgyár, CEM III/A 32,5 N jelű cement:

2 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	19 N/mm^2	2/28 = 0,35
	x = 0,55 mellett	9 N/mm^2	0,26
	x = 1,0 mellett	1 N/mm^2	0,09
28 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	55 N/mm^2	
	x = 0,55 mellett	34 N/mm^2	
	x = 1,0 mellett	11 N/mm^2	
90 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	72 N/mm^2	90/28 = 1,31
	x = 0,55 mellett	50 N/mm^2	1,47
	x = 1,0 mellett	15 N/mm^2	1,36

A szilárdságbecslő képlet számításának segédtényezői:

2 napos korra:	α = 19/1 = 19	β = 9/19 = 0,474	n = 1,3
28 napos korra:	α = 55/11 = 5	β = 34/55 = 0,62	n = 1,15
90 napos korra:	α = 72/15 = 4,8	β = 50/72 = 0,694	n = 1,75

A szilárdságbecslő képletek:

2 napos korra: $f_c = 52{,}2 \times \exp(-3{,}96 \times x^{1,3})$
28 napos korra: $f_c = 109{,}3 \times \exp(-2{,}3 \times x^{1,15})$
90 napos korra: $f_c = 96{,}9 \times \exp(-1{,}87 \times x^{1,75})$

„B" cementgyár, CEM V/A 32,5 N jelű cement:

2 napos átlagos nyomószilárdság:	$x = 0,35$ mellett	18 N/mm^2	2/28 = 0,28
	$x = 0,55$ mellett	7 N/mm^2	0,19
	$x = 1,0$ mellett	1 N/mm^2	0, 08
28 napos átlagos nyomószilárdság:	$x = 0,35$ mellett	65 N/mm^2	
	$x = 0,55$ mellett	36 N/mm^2	
	$x = 1,0$ mellett	12 N/mm^2	
90 napos átlagos nyomószilárdság:	$x = 0,35$ mellett	80 N/mm^2	90/28 = 1,23
	$x = 0,55$ mellett	48 N/mm^2	1,33
	$x = 1,0$ mellett	17 N/mm^2	1,42

A szilárdságbecslő képlet számításának segédtényezői:

2 napos korra:	$\alpha = 18/1 = 18$	$\beta = 7/18 = 0,39$	$n = 1,0$
28 napos korra:	$\alpha = 65/12 = 5,42$	$\beta = 36/65 = 0,554$	$n = 0,8$
90 napos korra:	$\alpha = 80/17 = 4,71$	$\beta = 48/80 = 0,6$	$n = 0,85$

A szilárdságbecslő képletek:

2 napos korra: $f_c = 85,3 \times \exp(-4,45 \times x)$

28 napos korra: $f_c = 234,7 \times \exp(-2,97 \times x^{0,8})$

90 napos korra: $f_c = 234,4 \times \exp(-2,62 \times x^{0,85})$

„C" cementgyár, CEM I 32,5 RS jelű cement:

2 napos átlagos nyomószilárdság:	$x = 0,35$ mellett	23 N/mm^2	2/28 = 0,46
	$x = 0,55$ mellett	10 N/mm^2	0,32
	$x = 1,0$ mellett	2 N/mm^2	0,29
28 napos átlagos nyomószilárdság:	$x = 0,35$ mellett	50 N/mm^2	
	$x = 0,55$ mellett	31 N/mm^2	
	$x = 1,0$ mellett	7 N/mm^2	
90 napos átlagos nyomószilárdság:	$x = 0,35$ mellett	65 N/mm^2	90/28 = 1,3
	$x = 0,55$ mellett	41 N/mm^2	1,32
	$x = 1,0$ mellett	12 N/mm^2	1,71

A szilárdságbecslő képlet számításának segédtényezői:

2 napos korra:	$\alpha = 23/2 = 11,5$	$\beta = 10/23 = 0,435$	$n = 0,78$
28 napos korra:	$\alpha = 50/7 = 7,14$	$\beta = 31/50 = 0,62$	$n = 1,62$
90 napos korra:	$\alpha = 65/12 = 5,42$	$\beta = 41/65 = 0,63$	$n = 1,4$

A szilárdságbecslő képletek:

2 napos korra: $f_c = 157,9 \times \exp(-4,37 \times x^{0,78})$

28 napos korra: $f_c = 77,6 \times \exp(-2,41 \times x^{1,62})$

90 napos korra: $f_c = 107,7 \times \exp(-2,19 \times x^{1,4})$

„C" cementgyár, CEM II/A-V 32,5 RS jelű cement:

2 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	20 N/mm^2	2/28 = 0,4
	x = 0,55 mellett	10 N/mm^2	0,37
	x = 1,0 mellett	2 N/mm^2	0,33
28 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	50 N/mm^2	
	x = 0,55 mellett	27 N/mm^2	
	x = 1,0 mellett	6 N/mm^2	
90 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	68 N/mm^2	90/28 = 1,36
	x = 0,55 mellett	43 N/mm^2	1,59
	x = 1,0 mellett	12 N/mm^2	1,5

A szilárdságbecslő képlet számításának segédtényezői:

2 napos korra:	$\alpha = 20/2 = 10$	$\beta = 10/20 = 0,5$	n = 1,08
28 napos korra:	$\alpha = 50/6 = 8,33$	$\beta = 27/50 = 0,54$	n = 1,15
90 napos korra:	$\alpha = 68/12 = 5,67$	$\beta = 43/68 = 0,63$	n = 1,4

A szilárdságbecslő képletek:

2 napos korra: $f_c = 59,6 \times exp\,(-3,39 \times x^{1,08})$

28 napos korra: $f_c = 123,5 \times exp\,(-3,02 \times x^{1,15})$

90 napos korra: $f_c = 114,2 \times exp\,(-2,25 \times x^{1,4})$

„C" cementgyár, CEM II/A-S 32,5 RS jelű cement:

2 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	32 N/mm^2	2/28 = 0,59
	x = 0,55 mellett	13 N/mm^2	0,37
	x = 1,0 mellett	3 N/mm^2	0,33
28 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	54 N/mm^2	
	x = 0,55 mellett	35 N/mm^2	
	x = 1,0 mellett	9 N/mm^2	
90 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	68 N/mm^2	90/28 = 1,26
	x = 0,55 mellett	53 N/mm^2	1,51
	x = 1,0 mellett	16 N/mm^2	1,78

A szilárdságbecslő képlet számításának segédtényezői:

2 napos korra:	$\alpha = 32/3 = 10,7$	$\beta = 13/32 = 0,406$	n = 0,35
28 napos korra:	$\alpha = 54/9 = 6$	$\beta = 35/54 = 0,65$	n = 1,63
90 napos korra:	$\alpha = 68/16 = 4,25$	$\beta = 53/68 = 0,78$	n = 2,38

A szilárdságbecslő képletek:

2 napos korra: $f_c = 6612,6 \times exp\,(-7,7 \times x^{0,35})$

28 napos korra: $f_c = 80,2 \times exp\,(-2,19 \times x^{1,63})$

90 napos korra: $f_c = 77,4 \times exp\,(-1,58 \times x^{2,38})$

„C" cementgyár, CEM II/B-V 32,5 R jelű cement:

2 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	25 N/mm^2	2/28 = 0,42
	x = 0,55 mellett	10 N/mm^2	0,3
	x = 1,0 mellett	3 N/mm^2	0,33
28 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	60 N/mm^2	
	x = 0,55 mellett	33 N/mm^2	
	x = 1,0 mellett	9 N/mm^2	
90 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	76 N/mm^2	90/28 = 1,27
	x = 0,55 mellett	43 N/mm^2	1,3
	x = 1,0 mellett	13 N/mm^2	1,44

A szilárdságbecslő képlet számításának segédtényezői:

2 napos korra:	Bolomey-képlettel közelíthető		n = 2,0
28 napos korra:	α = 60/9 = 6,67	β = 33/60 = 0,55	n = 0,95
90 napos korra:	α = 76/13 = 5,85	β = 43/76 = 0,566	n = 0,9

A szilárdságbecslő képletek:

2 napos korra: $$f_c = 3{,}071 \times \left(\frac{1}{x^2} - 0{,}0233 \right)$$

28 napos korra: $$f_c = 181{,}8 \times \exp(-3{,}0 \times x^{0,95})$$

90 napos korra: $$f_c = 233{,}6 \times \exp(-2{,}89 \times x^{0,9})$$

„C" cementgyár, CEM II/B-V 32,5 N jelű cement:

2 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	21 N/mm^2	2/28 = 0,44
	x = 0,55 mellett	9 N/mm^2	0,31
	x = 1,0 mellett	3 N/mm^2	0,43
28 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	48 N/mm^2	
	x = 0,55 mellett	29 N/mm^2	
	x = 1,0 mellett	7 N/mm^2	
90 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	70 N/mm^2	90/28 = 1,46
	x = 0,55 mellett	41 N/mm^2	1,41
	x = 1,0 mellett	14 N/mm^2	1,5

A szilárdságbecslő képlet számításának segédtényezői:

2 napos korra:	Bolomey-képlettel közelíthető		n = 2,0
28 napos korra:	α = 48/7 = 6,86	β = 29/48 = 0,604	n = 1,43
90 napos korra:	α = 70/14 = 5,0	β = 41/70 = 0,586	n =0,83

A szilárdságbecslő képletek:

2 napos korra: $$f_c = 2{,}51 \times \left(\frac{1}{x^2} + 0{,}194 \right)$$

28 napos korra: $$f_c = 83{,}4 \times \exp(-2{,}48 \times x^{1,43})$$

90 napos korra: $$f_c = 222{,}8 \times \exp(-2{,}77 \times x^{0,83})$$

„D” cementgyár, CEM I 52,5 N jelű cement:

2 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	45 N/mm^2	2/28 = 0,64
	x = 0,55 mellett	20 N/mm^2	0,43
	x = 1,0 mellett	4 N/mm^2	0,33
28 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	70 N/mm^2	
	x = 0,55 mellett	47 N/mm^2	
	x = 1,0 mellett	12 N/mm^2	
90 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	81 N/mm^2	90/28 = 1,16
	x = 0,55 mellett	58 N/mm^2	1,23
	x = 1,0 mellett	20 N/mm^2	1,67

A szilárdságbecslő képlet számításának segédtényezői:

2 napos korra:	α = 45/4 = 11,25	β = 20/45 = 0,44	n = 0,72
28 napos korra:	α = 70/12 = 5,83	β = 47/70 = 0,67	n = 1,8
90 napos korra:	α = 81/20 = 4,05	β = 58/81 = 0,716	n = 1,68

A szilárdságbecslő képletek:

2 napos korra: $f_c = 383{,}6 \times exp\,(-4{,}56 \times x^{0,72})$

28 napos korra: $f_c = 95{,}8 \times exp\,(-2{,}08 \times x^{1,8})$

90 napos korra: $f_c = 108{,}2 \times exp\,(-1{,}69 \times x^{1,68})$

„D” cementgyár, CEM I 42,5 N jelű cement:

2 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	42 N/mm^2	2/28 = 0,68
	x = 0,55 mellett	14 N/mm^2	0,35
	x = 1,0 mellett	3 N/mm^2	0,27
28 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	62 N/mm^2	
	x = 0,55 mellett	40 N/mm^2	
	x = 1,0 mellett	11 N/mm^2	
90 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	79 N/mm^2	90/28 = 1,27
	x = 0,55 mellett	54 N/mm^2	1,35
	x = 1,0 mellett	17 N/mm^2	1,55

A szilárdságbecslő képlet számításának segédtényezői:

2 napos korra:	Bolomey-képlettel közelíthető		n = 2,4
28 napos korra:	α = 62/11 = 5,64	β = 40/62 = 0,645	n = 1,55
90 napos korra:	α = 79/17 = 4,65	β = 54/79 = 0,683	n = 1,57

A szilárdságbecslő képletek:

2 napos korra: $f_c = 3{,}414 \times \left(\frac{1}{x^{2,4}} - 0{,}121\right)$

28 napos korra: $f_c = 94{,}6 \times exp\,(-2{,}15 \times x^{1,55})$

90 napos korra: $f_c = 113{,}9 \times exp\,(-1{,}9 \times x^{1,57})$

„D” cementgyár, CEM II/A-S 42,5 N jelű cement:

2 napos átlagos nyomószilárdság:	$x = 0{,}35$ mellett	33 N/mm^2	2/28 = 0,52
	$x = 0{,}55$ mellett	12 N/mm^2	0,32
	$x = 1{,}0$ mellett	3 N/mm^2	0,3
28 napos átlagos nyomószilárdság:	$x = 0{,}35$ mellett	63 N/mm^2	
	$x = 0{,}55$ mellett	37 N/mm^2	
	$x = 1{,}0$ mellett	10 N/mm^2	
90 napos átlagos nyomószilárdság:	$x = 0{,}35$ mellett	77 N/mm^2	90/28 = 1,22
	$x = 0{,}55$ mellett	49 N/mm^2	1,32
	$x = 1{,}0$ mellett	16 N/mm^2	1,6

A szilárdságbecslő képlet számításának segédtényezői:

2 napos korra:	Bolomey-képlettel közelíthető		n = 2,2
28 napos korra:	$\alpha = 63/10 = 6{,}3$	$\beta = 37/63 = 0{,}587$	n = 1,18
90 napos korra:	$\alpha = 77/16 = 4{,}81$	$\beta = 49/77 = 0{,}636$	n = 1,2

A szilárdságbecslő képletek:

2 napos korra: $$f_c = 3{,}307 \times \left(\frac{1}{x^{2,2}} - 0{,}093 \right)$$

28 napos korra: $$f_c = 133{,}5 \times \exp\left(-2{,}59 \times x^{1,18}\right)$$

90 napos korra: $$f_c = 143{,}5 \times \exp\left(-2{,}19 \times x^{1,2}\right)$$

„D” cementgyár, CEM II/B-S 32,5 R jelű cement:

2 napos átlagos nyomószilárdság:	$x = 0{,}35$ mellett	26 N/mm^2	2/28 = 0,46
	$x = 0{,}55$ mellett	12 N/mm^2	0,35
	$x = 1{,}0$ mellett	3 N/mm^2	0,3
28 napos átlagos nyomószilárdság:	$x = 0{,}35$ mellett	57 N/mm^2	
	$x = 0{,}55$ mellett	34 N/mm^2	
	$x = 1{,}0$ mellett	10 N/mm^2	
90 napos átlagos nyomószilárdság:	$x = 0{,}35$ mellett	71 N/mm^2	90/28 = 1,25
	$x = 0{,}55$ mellett	51 N/mm^2	1,5
	$x = 1{,}0$ mellett	16 N/mm^2	1,6

A szilárdságbecslő képlet számításának segédtényezői:

2 napos korra:	$\alpha = 26/3 = 8{,}67$	$\beta = 12/26 = 0{,}462$	n = 0,58
28 napos korra:	$\alpha = 57/10 = 5{,}7$	$\beta = 34/57 = 0{,}596$	n = 1,12
90 napos korra:	$\alpha = 71/16 = 4{,}44$	$\beta = 51/71 = 0{,}718$	n = 1,8

A szilárdságbecslő képletek:

2 napos korra: $$f_c = 341{,}7 \times \exp\left(-4{,}74 \times x^{0,58}\right)$$

28 napos korra: $$f_c = 123{,}9 \times \exp\left(-2{,}52 \times x^{1,12}\right)$$

90 napos korra: $$f_c = 92{,}6 \times \exp\left(-1{,}76 \times x^{1,8}\right)$$

„D” cementgyár, CEM II/B-M 32,5 N jelű cement:

2 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	15 N/mm^2	2/28 = 0,28
	x = 0,55 mellett	8 N/mm^2	0,27
	x = 1,0 mellett	2 N/mm^2	0,25
28 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	53 N/mm^2	
	x = 0,55 mellett	30 N/mm^2	
	x = 1,0 mellett	8 N/mm^2	
90 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	68 N/mm^2	90/28 = 1,28
	x = 0,55 mellett	41 N/mm^2	1,37
	x = 1,0 mellett	13 N/mm^2	1,63

A szilárdságbecslő képlet számításának segédtényezői:

2 napos korra:	α = 15/ 2 = 7,5	β = 8/15 = 0,533	n = 1
28 napos korra:	α = 53/ 8 = 6,625	β = 30/53 = 0,566	n = 1,05
90 napos korra:	α = 68/13 = 5,23	β = 41/68 = 0,603	n = 1,05

A szilárdságbecslő képletek:

2 napos korra: $f_c = 44{,}4 \times \exp(-3{,}1 \times x)$

28 napos korra: $f_c = 135{,}7 \times \exp(-2{,}83 \times x^{1{,}05})$

90 napos korra: $f_c = 154{,}8 \times \exp(-2{,}48 \times x^{1{,}05})$

„D” cementgyár, CEM III/A 32,5 N jelű cement:

2 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	17 N/mm^2	2/28 = 0,34
	x = 0,55 mellett	8 N/mm^2	0,28
	x = 1,0 mellett	1 N/mm^2	0,11
28 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	50 N/mm^2	
	x = 0,55 mellett	29 N/mm^2	
	x = 1,0 mellett	9 N/mm^2	
90 napos átlagos nyomószilárdság:	x = 0,35 mellett	73 N/mm^2	90/28 = 1,46
	x = 0,55 mellett	44 N/mm^2	1,52
	x = 1,0 mellett	14 N/mm^2	1,56

A szilárdságbecslő képlet számításának segédtényezői:

2 napos korra:	α = 17/1 = 17	β = 8/17 = 0,471	n = 1,3
28 napos korra:	α = 50/9 = 5,56	β = 29/50 = 0,58	n = 0,95
90 napos korra:	α = 73/14 = 5,21	β = 44/73 = 0,603	n = 1,03

A szilárdságbecslő képletek:

2 napos korra: $f_c = 44{,}9 \times \exp(-3{,}8 \times x^{1{,}3})$

28 napos korra: $f_c = 136{,}2 \times \exp(-2{,}72 \times x^{0{,}95})$

90 napos korra: $f_c = 170{,}4 \times \exp(-2{,}5 \times x^{1{,}03})$

„D" cementgyár, CEM III/B 32,5 NS jelű cement:

2 napos átlagos nyomószilárdság:	$x = 0{,}35$ mellett	13 N/mm^2	2/28 = 0,25
	$x = 0{,}55$ mellett	6 N/mm^2	0,22
	$x = 1{,}0$ mellett	1 N/mm^2	0,11
28 napos átlagos nyomószilárdság:	$x = 0{,}35$ mellett	52 N/mm^2	
	$x = 0{,}55$ mellett	27 N/mm^2	
	$x = 1{,}0$ mellett	9 N/mm^2	
90 napos átlagos nyomószilárdság:	$x = 0{,}35$ mellett	65 N/mm^2	90/28 = 1,25
	$x = 0{,}55$ mellett	39 N/mm^2	1,44
	$x = 1{,}0$ mellett	14 N/mm^2	1,56

A szilárdságbecslő képlet számításának segédtényezői:

2 napos korra:	$\alpha = 13/1 = 13$	$\beta = 6/13 = 0{,}462$	$n = 0{,}93$
28 napos korra:	$\alpha = 52/9 = 5{,}78$	$\beta = 27/52 = 0{,}519$	$n = 0{,}48$
90 napos korra:	$\alpha = 65/14 = 4{,}64$	$\beta = 39/65 = 0{,}6$	$n = 0{,}8$

A szilárdságbecslő képletek:

2 napos korra: $f_c = 61{,}3 \times \exp(-4{,}12 \times x^{0{,}93})$

28 napos korra: $f_c = 756{,}2 \times \exp(-4{,}43 \times x^{0{,}48})$

90 napos korra: $f_c = 208{,}7 \times \exp(-2{,}7 \times x^{0{,}8})$

„D" cementgyár, CEM V/A 32,5 N jelű cement:

2 napos átlagos nyomószilárdság:	$x = 0{,}35$ mellett	10 N/mm^2	2/28 = 0,2
	$x = 0{,}55$ mellett	7 N/mm^2	0,21
	$x = 1{,}0$ mellett	1 N/mm^2	0,1
28 napos átlagos nyomószilárdság:	$x = 0{,}35$ mellett	50 N/mm^2	
	$x = 0{,}55$ mellett	32 N/mm^2	
	$x = 1{,}0$ mellett	10 N/mm^2	
90 napos átlagos nyomószilárdság:	$x = 0{,}35$ mellett	65 N/mm^2	90/28 = 1,3
	$x = 0{,}55$ mellett	44 N/mm^2	1,38
	$x = 1{,}0$ mellett	16 N/mm^2	1,6

A szilárdságbecslő képlet számításának segédtényezői:

2 napos korra:	$\alpha = 10/1 = 10$	$\beta = 7/10 = 0{,}7$	$n = 2{,}54$
28 napos korra:	$\alpha = 50/10 = 5$	$\beta = 32/50 = 0{,}64$	$n = 1{,}33$
90 napos korra:	$\alpha = 65/16 = 4{,}06$	$\beta = 44/65 = 0{,}677$	$n = 1{,}28$

A szilárdságbecslő képletek:

2 napos korra: $f_c = 11{,}8 \times \exp(-2{,}47 \times x^{2{,}54})$

28 napos korra: $f_c = 84{,}9 \times \exp(-2{,}14 \times x^{1{,}33})$

90 napos korra: $f_c = 106{,}6 \times \exp(-1{,}9 \times x^{1{,}28})$

A TARTÓSSÁGRA VALÓ TERVEZÉS GAZDASÁGOSSÁGI KÉRDÉSEI [1]

Dr. Ujhelyi János

Tisztelt Elnök úr, hölgyeim és uraim!

Az eddig elhangzott tartalmas, színvonalas előadások a nagy teljesítőképességű, tartós betonok készítésének műszaki követelményeit és lehetőségeit taglalták. Az előadásomban érintett problémakör ettől kissé eltér, mert a tartós betonok készítésének a gazdaságosságát érinti.

Előadásom szerkesztett változata a konferencia kiadványában megtalálható, ezért a tartós betonszerkezetek készítésének a gazdaságosságáról – szembeállítva a kizárólag teherbírásra tervezett betonszerkezetekkel – itt csak néhány gondolatot említek meg. Azt szeretném ugyanis körbejárni, és következtetéseim eredményeiről önöknek beszámolni, hogy milyen lehetőségek vannak egyáltalán a gazdaságosság elemzésére.

A feladat kétirányú. Először meg kell vizsgálni, hogy milyenek a betonszerkezetek ***készítésének*** a költségei akkor, ha csak a teherbírást vesszük figyelembe, és milyenek akkor, ha elsősorban a hosszú használati élettartamra tervezünk. Másodszor elemezni kell, hogy milyen ***fenntartási és járulékos*** költségek merülnek fel meghatározott használati élettartam (50, 100 vagy akár 200 év) folyamán akkor, ha a szerkezetet teherbírásra, és milyenek, ha tartósságra tervezték.

Mindenek előtt a készítés költségeit befolyásoló néhány tényezőt említek meg, feltételezve a készítés kifogástalan végrehajtását.

Ismeretes, hogy mennél nagyobb szilárdságú a beton, annál többe kerül. A szilárdság viszont az idő múlásával fejlődik. Ha a 28 napos nyomószilárdság normál hőmérsékleten 100 %, akkor a 2 napos szilárdságok aránya – a cement fajtájától függően – 0,4 körüli víz/cement tényező mellett 60–80 %, 0,6 körüli víz/cement tényező mellett 40–50 %, 0,8 körüli víz/cement tényező mellett 30–40 %, míg a 90 napos nyomószilárdságoké (a fenti sorrendben) 110–125 %, 120–140 % és 130–150 %. Ebből következik, hogy amennyiben az üzemi terheket nem 1 hónap, hanem több hónap után kell a szerkezetnek elviselnie, akkor a beton 28 napos szilárdsági jele mérsékelhető, ezért a beton összetételéből adódó költségek csökkenthetők.

Ezzel szemben a megfelelő tartósságú szerkezet betonjának összetételét a kortól függetlenül kell megállapítani, mégpedig jelentős mértékben kisebb tűrésekkel, mint a csak teherhordásra igénybevett szerkezetekét. Az alapanyagokat úgy kell kiválasztani, a beton összetételét úgy kell meghatározni és a szerkezet készítésének a technológiáját úgy kell kialakítani, hogy a szilárd betonszerkezet ***struktúrája*** lehetetlenné tegye a molekulavándorlást, a transzportfolyamatok létrejöttét. A szerkezetet a tartósság érdekében úgy kell megtervezni, hogy ne keletkezhessenek feszültségcsúcsok, megfelelő

[1] A „Betonszerkezetek tartóssága” címmel, a Magyar Tudományos Akadémián 2008. június 23-án rendezett konferencián elhangzott előadás, amelynek teljes szövege a dr. Balázs György és dr. Balázs L. György által szerkesztett konferencia kiadvány 315-327. oldalán olvasható.

legyen az acélbetétek védelme viszonylag nagy betonfedéssel, minimális legyen a zsugorodása, a kúszása, a repedezési hajlama. Mindezeknek elkerülhetetlen következménye a szerkezet anyag- és építési költségeinek a növekedése.

Ha nem vesszük figyelembe a fenti feltételeket, hanem kizárólag a teherbírásra tervezünk, azaz nem a megfelelő struktúrát, hanem csak a kielégítő szilárdságot kívánjuk elérni, akkor a szerkezet repedésérzékenysége és a nem kellő tömöttsége következtében előbb-utóbb károsodni kezd és a megfelelő használhatóságot csak rendszeres karbantartással, felújítással lehet megtartani. Ennek eredményeként tetemes fenntartási költségekre számíthatunk.

Kérdés, hogy ki tudjuk-e megbízhatóan számítani az építési és a fenntartási költségeket?

A szilárdságra tervezett betonszerkezetek építési költségeit jó közelítéssel lehet becsülni az aktuális anyag-, munkaerő- és energiaköltségekből, valamint a járulékos terhekből. Ezeknek a szerkezeteknek a tervezési és kivitelezési gyakorlata már évszázados múltra támaszkodik, ezért a tévedés valószínűsége a költségbecslésben minimális. A tévedés oka nem a módszer hibája, hanem emberi figyelmetlenség.

A tartós szerkezetek esetében hagyományra, gyakorlatra kevésbé támaszkodhatunk. Számos környezeti igénybevétellel szemben a megfelelően ellenálló beton összetételét és készítését nagy biztonsággal kell megtervezni, ezért az építési költségek becslése a feltételek és a következmények nem teljes körű ismerete miatt kevésbé lesz megbízható. Szakszerű tervezés és gondosan kivitelezett készítés esetén azonban elfogadható tűréssel kalkulálhatunk.

Első közelítésben arra lehet következtetni, hogy a megfelelő szilárdságúra tervezett szerkezetek kiszámítható költséggel, viszonylag olcsón építhetők, de drágán tarthatók használható állapotban, míg a megfelelő struktúrára tervezett szerkezetek esetében fordított a helyzet: becsülhető mértékben drágább az építés, de olcsó a fenntartás.

Kérdés: melyik tervezés ad gazdaságosabb szerkezetet a szerkezet teljes használati élettartama alatt, milyen megtakarítások várhatók a tartós betonok fenntartási költségeiben.

Erre a kérdésre egyelőre kevés válasz található a szakirodalomban. A tartós betonok tervezésére egy CEB munkabizottság 2000 évben készített irányelveket és kézikönyvet. Ennek kapcsán tartott konferencián ***Rostam*** néhány éve ismertetett elemzést az Atlanti óceán északi partvidékén épített hullámtörő gát építési és fenntartási költségeiről eltérő tervezési stratégiák esetén. Ezek a stratégiák a következők voltak:

1. Közönséges beton, hagyományos tervezés, szokásos kivitelezés, javítás csak akkor, amikor a rendszeres szemrevételezés során már észlelhető repedezés és hámlás
2. Nagy teljesítőképességű beton, optimális tervezés, kivitelezés és utókezelés, nagy betontakarás, állandó minőségellenőrzés, szükség esetén azonnali javítás.

3. Közönséges beton, hagyományos tervezés, de a szerkezet katódos védelme (vizes közegben áldozati anódokkal) a víz alatti árapály zónák védelmére.
4. Közönséges beton, hagyományos terezés és kivitelezés, de az acélbetétek 50 %-át rozsdamentes acél helyettesíti. Rendszeres ellenőrzés.

Ezeknek a stratégiáknak valamennyi elemére reális költségeket választottak, és a használati élettartam alatt felmerülő költségeket valószínűség számítással becsülték, a várható haszon feltételezésével. A vizsgálatokból ***Rostam*** két következtetést szűrt le.

Az egyik az, hogy a legelterjedtebb stratégia a hagyományos módszer (1), vagy ugyanez, de katódos védelemmel (3). Ezeknek a teljes használati élettartam alatti költsége – kis haszon mellett – tetemes, de előnyösek lehetnek, ha a javítási költségeket a lehető legkésőbbre lehet halasztani. A halasztható felújítás viszont már bizonyos tartósságot feltételez.

A másik következtetés az, hogy a nagy teljesítőképességű beton (2), vagy a rozsdamentes acél (4) alkalmazása mellett jelentősen csökkennek az életciklus költségei, de a haszon változatlanul csekély. Ekkor csak az a kérdés, hogy vannak-e megfelelő anyagok és a munkaerő képzettsége, gyakorlottsága kielégítő-e.

Rostam elemzése konkrét szerkezetre érvényes. Más konkrét esetben más elemzésekre lehet szükség, de a feladat mindenkor azonos: meg kell határozni, hogy pl. 50 éves használati élettartamra vetítve melyik a gazdaságos eljárás:

a) csak szilárdságra tervezett betonszerkezet készítése és 50 éven át a rendszeres karbantartás és felújítás költségeinek a vállalása, egyúttal a megtakarított készítési költségek befektetése (amelynek a hozama esetleg nagyobb, mint a fenntartás összes költsége), vagy
b) tartósságra tervezett betonszerkezet készítése, vállalva a készítés nagyobb költségeit, de megtakarítva jelentős fenntartási kiadásokat.

Az első választásban említett befektetés hasznának a gazdasági elemzése túlmegy a tervező mérnök lehetőségein, ehhez költségelemzésben jártas közgazdászokat és jövőkutatókat kellene bevonni. Az elemzés nem alapulhat számításokon, csak nagyvonalú becsléseken. A közelmúlt és a legújabb idők gazdasági változásainak ismeretében a következő 50-100 év gazdasági környezete ingadozásainak a becslésével azonban legalábbis szkeptikus lehet a mérnök. A becsléshez nemcsak a gazdasági változások feltételezése szükséges (pl. mekkora lesz az energiaköltségek növekedése), hanem a szerkezet használatának időnkénti korlátozásával járó kiadások elemzése (pl. közlekedési létesítmények esetén a forgalom korlátozásáé). A gazdasági változások tekintetében mérlegelni szükséges a GDP változását, az inflációt, az energiahordozók, anyagok stb. árának a változásait, a befektetések jövőbeni lehetőségeit és várható hozamait, a gazdasági-politikai igényeket, az életszínvonal szociális és egyéb követelményeit, hogy csak néhány, a becslést befolyásoló tényezőt említsek. Lehet a becsléshez korábbi tendenciák alapján kialakult elveket felhasználni, de a becslés valóságtartalma ettől nem válto-

zik, mert nagyvonalú becslés marad. A mérnök azonban érthetően szkeptikus a jövő változásai becslésének a megalapozottságában.

Bár nem az építőiparból származik a következő példa a várható költségek becslésének bizonytalanságára, de érdemes megemlíteni és továbbgondolni.

Az iraki háború megindítása előtt az USA kormánya gazdasági elemzéseket készített a várható költségekről. Ebben a munkában vezető közgazdászok, és vezető intézmények vettek részt, tehát nagy létszámú, korszerű háttérrel rendelkező apparátus. Az elemzések eredményeként 50-60 milliárd dollárra becsülték a várható kiadásokat, a járulékos költségekkel együtt.

Független elemzők saját elemzéseik alapján ezzel szemben kb. 200 milliárd dollárt vártak, amit ***Donald Rumsfeld*** védelmi miniszter 2002. szeptember 22-én keresetlen egyszerűséggel ***süket dumának*** minősített.

Joseph Stiglitz Nobel-díjas amerikai közgazdász 2008 év eleji elemzésében a háború összes költségét addig az időpontig 3 billió (3 ezer milliárd) dollárra értékelte.

Bár hangsúlyozni kell, hogy nem szabad túlzott következtetéseket levonni egy politikai játszma propagálására szervezett elemző gárda becslési hibájából (ebben a példában az 50-60 milliárd és a 200 milliárd közötti különbségből), de úgy vélem, jellemző lehet a bizonytalan világgazdasági helyzetben a kiadások becslésének a pontosságára a független elemzők által jósolt 200 milliárd és a legújabban kiszámított 3 ezer milliárd dollár közötti eltérés. Ezt mérlegelni kell, amikor a szilárdságra és a tartósságra tervezett betonok élettartam-költségeit megkíséreljük összehasonlítani.

A vásárlóknak, így az építmények beruházóinak, leendő tulajdonosainak és használóinak is általános igénye az, hogy gazdaságos termékhez jussanak. Az építményeket azonban nemcsak néhány évre tervezik, mint az autókat vagy egyéb fogyasztási cikkeket, hanem akár több évszázadra. Ezért a gazdaságosság optimalizálásakor nem elég csak az építési költségekre gondolni, hanem a használati élettartam alatti fenntartási és járulékos költségeket is mérlegelni kellene. Az elmondottakból úgy tűnik, hogy erre kérdésre – legalábbis egyelőre – nem lehet szabatos választ adni, és a becslések várható hibája elfogadhatatlan mértékű.

Ezért akkor járunk el helyesen, ha a beton tartósságának, használati élettartamának, illetve a teherbírásra és a struktúrára tervezett szerkezetek összehasonlításának a vizsgálatakor kizárólag a műszaki vonatkozásokat vesszük figyelembe.

Dr. Buday Tibor
1929-2009

2009. januárban volt a temetése a magyar betonipar fejlesztésén dolgozó egyik általánosan ismert és tisztelt kollégánknak, dr.Buday Tibornak, aki 1929. évben született, értelmiségi családban. Édesapja a két világháború között felelős minisztériumi beosztásban dolgozott, s ez hosszú ideig meghatározta – a negyvenes évek végén kialakult politikai légkörben – fia előmenetelének a lehetőségeit. Az 1947 évi érettségit követően (Cisztercita Rend budai Szt. Imre Gimnázium) iratkozott be a Közgazdaságtudományi Egyetemre, ahonnan azonban 1948-ban „osztályidegenként" eltávolították, és katonai segédszolgálatra hívták be. Miután leszerelt, álláshoz jutott az Építéstudományi Intézetben, ahol 1953-tól nyugdíjba meneteléig, 1990 évig dolgozott.

Az Intézet Betontechnológiai osztályán végigjárta a műszaki rajzolói beosztástól a tudományos főmunkatársig valamennyi lépcsőfokot. Az osztály kutatás-fejlesztési munkáiban már 1956 évtől részt vett tevékenyen és invenciózusan, eközben levelező tagozaton elvégezhette a Műegyetem építészmérnöki karát, és okl. építészmérnök lett 1960 évben.

Kutatás-fejlesztési témái a betontechnológia szinte valamennyi területére kiterjedtek. Ezek között a legfontosabbak a következők voltak: sugárvédő nehéz- és hidrát-betonok (barit-, sziderit-, limonit-, vassörét-, szerpentin-betonok sugárvédelemre, bauxit betonok neutronvédelemre), továbbá sugárvédő habarcsok és röntgenlaboratóriumok védőbetonja, a betonkeverékek javítása adalékszerekkel, a betonok és könnyűbetonok érlelése (gőzölés, gyorsgőzölés, autoklávolás), speciális technológiák fejlesztése (pörgetett csövek, friss beton nyírása, acélbetétek korrózióvédelme, bauxitbetonok helyszíni vizsgálata, öntöttbeton falszerkezetek alakváltozása, gépi vakolás, sejtesített kohóhabsalak betonok, vízzáró-vízépítési betonok, öntömörödő betonok, vízzáró résfalak, betonszivattyúzás, gázzáró betonok). Dr.Buday T. szerkesztette az első hazai betonelőírást (1963), amelyet Dr.Palotás L. professzor úr irányításával az ÉTI-ben működő munkabizottság dolgozott ki, és amelyet később kb. 5 évenként korszerűsítettek. Az általa végzett K+F munkáknak részletes összefoglalóját – az ÉTI-ben 1956-1990 között készített Tudományos Jelentései alapján – *Balázs Gy.: Beton és vasbeton V. A kutatás története I. Akadémiai Kiadó, Budapest, 2004. pp. 497-527.* könyv részleteiben is tartalmazza.

Tudását és tapasztalatait számos nagyberuházás (pl. paksi Erőmű, Dunakiliti-i vízlépcső, röntgenlaboratóriumok) betontechnológiai irányításában, sok betonszerkezet építéséhez készített betontechnológiai előírás összeállításában gyümölcsöztette. A Műegyetemen az oktatásban 1960-1983 között vett részt: az Építőanyagok tanszéke hívta meg laboratóriumi gyakorlatok vezetésére. A műegyetemi doktori címet 1972 évben szerezte meg, 3 hónapos ösztöndíjas ausztriai tanulmányait követően (Collegium Hungaricum).

A betontechnológusok jól ismerik széleskörű irodalmi tevékenységét az építőanyagok és a betontechnológia területén: szerzője, ill. társszerzője volt 14 könyvnek, 8 szakközépiskolai tankönyvnek és 8 ÉTI kiadványnak. Az „Építőanyag Praktikum" (szerkesztő: Dr.Balázs György) társszerzőjeként kiadói nívódíjat is kapott. Nyugdíjba menetele után is dolgozott bejegyzett igazságügyi szakértőként (országos szinten) 1988-2002 között, valamint résztvett a Betonolith K+F Kft., majd a CEMKUT +F Kft. több témájának a kidolgozásában. Az Építőipari Tudományos Egyesület örökös tagja volt, itt az Építéskivitelezési Szakosztály vezetőségében dolgozott 1970-2002 között.

Dr. Buday Tibor emlékét közvetlen munkatársai tisztelettel őrzik, és rajtuk kívül mindazok, akik csak publikációin keresztül ismerhették meg alapos, széleskörű tudását.

Előadás a 90 éves Dr. Gilyén Jenő tiszteletére [1]

Újabb kutatások a beton mechanikai tulajdonságai területén

Dr.Ujhelyi János, okl.mérnök, a műszaki tudományok doktora

Bevezetésként ki kell jelentenem, hogy az előadásom nem felel meg teljes mértékben a megadott címnek, mert nem új kutatási eredményekről ad számot, (erre egyébként sem lenne elegendő idő, sem tisztelt hallgatóimban elegendő türelem), hanem a különböző mechanikai tulajdonságok ellenőrzésének a fontosságát és a lehetőségeit járja körül. Azt is meg kell jegyeznem, hogy az itt elmondandó gondolataimat Dr.Gilyén Jenőnek a BETON c. folyóirat 2008. októberi számában megjelent *„Különböző betonminőségű részek közös teherviselésénél fellépő problémák"* című tanulmányának elolvasása indította el. Örülök annak, hogy a közel 60 éve megismert és még ma is aktív Gilyén professzor előtt ezzel az előadással is kifejezhetem baráti tiszteletemet.

Gilyén Jenő idézett tanulmánya azt a problémát járja körül, hogy a különböző minőségű építőanyagokból összeépített teherhordó szerkezetek megbízható állékonyságának tervezéséhez nem elsősorban az eltérő szilárdságú részek kielégítő együttdolgozását, hanem főleg az eltérő alakváltozások elemzését kell alapul venni. Több tönkremenetel (Belgrád rakpart 3-4, londoni gázrobbanás miatt tönkrement 22 szintes panelos lakóépület stb.) feldolgozásával állapította meg, hogy az anyagok viselkedését be kell építeni a számítási modellekbe.

Azok a mechanikai – és egyéb – anyagtulajdonságok, amelyeket a statikus tervezőnek figyelembe kell – vagy kellene – vennie, számosak: a nyomó-, húzó-, nyíró- stb. szilárdság mellett a zsugorodás, a kúszás, a rugalmassági modulus, a fáradási szilárdság, a rövid idejű és a tartós, valamint a dinamikus alakváltozások, a repedésérzékenység, a pórusstruktúra, hogy csak a legfontosabbakat említsem. Ezeknek a jellemzőknek mindegyike jelentős mértékben befolyásolja a szerkezetek használhatóságát, állékonyságát, azonban a beton átadás-átvételi folyamatában csak egyetlen tulajdonságot vizsgálunk: a betonkeverékből szabvány szerint készített próbatesten mért nyomószilárdságot. Ezzel kapcsolatban két megjegyzést kell tennem.

Az egyik az, hogy ha a próbatesten mért nyomószilárdság értéke kellő megbízhatóságú lenne, akkor a szabványos vizsgálat jó következtetést nyújthatna a betonszilárdság értékelésére, de ez a megbízhatóság nem kifogástalan. A másik az, hogy ha az össze többi mechanikai és fizikai betontulajdonság szorosan függne a nyomószilárdságtól, akkor ennek ellenőrzése megbízhatóan igazolná a teherhordó beton alkalmasságát, azonban ez a szoros összefüggés nem áll fenn. Ezért úgy tűnik, hogy a vonatkozó szabványok nem igazán alkalmasak a betonminőség általános értékelésére.

A nyomószilárdság szabványos vizsgálatának a megbízhatósága függ a mintavételtől (átlagos minőségű-e a keverékből kivett minta?), a próbatest tömörítettségétől (ezt testsűrűsége igazolja, de a szabvány e szükséges testsűrűséget nem írja elő), a próbatestek utókezelésétől (ezt nem ellenőrzik), a nyomógép kalibráltságától, stb. Ha minden befolyásoló tényező ingadozása minimális, akkor sem várható tökéletes pontosság. Az ASTM C 873 szabvány például – széleskörű laboratóriumi vizsgálatsorozat eredményeképpen – az *egykezelői variációs tényezőt* (azaz ugyanazon képzett személy által végzett vizsgálati pontosságot) a 10-40 N/mm^2 szilárdságtartományban 3,5 % értékűnek találta. Ez azt jelenti, hogy ugyanazon a betonon elvégzett két szilárdságvizsgálat eredménye akkor megfelelő, ha azok egymástól legfeljebb 10 %-ban térnek el, azaz pl. 40 N/mm^2 tényleges nyomószilárdságú keverék két vizs-

[1] Elhangzott a 90 éves dr. Gilyén Jenő tiszteletére – az Építéstudományi Egyesület és a *fib* Magyar Tagozata által – rendezett, a MTESZ budai székházában, 2009. február 12-én tartott ünnepi előadó ülésen.

gálati eredménye megfelelőnek ítélendő, ha 36 és 40, vagy 40 és 44 N/mm^2 a kapott két szilárdság.

Ez nem a vizsgálat hibás végrehajtásának a következménye, hanem a vizsgálati módszer eredendően korlátolt pontossága. Ebből viszont számomra az következik, hogy a szilárdság vizsgálatának eredményeként nyert számértékek csak közelítésként fogadhatók el, és nem alkalmasak szabatos matematikai műveletek céljára. S minthogy a betonok bevezetőben felsorolt egyéb lényeges tulajdonságai nincsenek szoros összefüggésben a nyomószilárdsággal, ezért a beton használhatóságáról a szilárdság vizsgálata vajmi keveset mond.

Hogyan tudjuk ezek előrebocsátása után a beton szükséges tulajdonságait megbízhatóan ellenőrizni, és miképpen lehetnek a tervezőnek nyugodtak az éjszakái, ha az általa tervezett és kivitelezett szerkezetek állékonysága jut az eszébe?

Véleményem a következő, amelyet továbbgondolásra ajánlok.

Az előírt nyomószilárdságú beton összetételét ma már megbízható módon lehet megtervezni. A tervezés alapja már közel 100 éve a víz/cement tényező, amelynek szükséges értékét a felhasznált adalék-anyag, kötőanyag, kiegészítő anyag, adalékszer és készítési technológia (adagolás, keverés, szállítás, zsaluzatba juttatás, tömörítés és utókezelés) ismeretében kellő szabatossággal ki lehet számítani. Ahhoz, hogy a számítási eljárást ki lehessen alakítani, előzetes laboratóriumi vizsgálatokra és üzemi ellenőrzésekre volt szükség. Magyarországon ezt a munkát a korábbi Építésügyi Minisztérium támogatta. Ugyanígy számos egyéb betontulajdonság létrehozására alkalmas keverék tervezéséhez is finanszírozta a szükséges laboratóriumi munkát (ÉTI, SZIKKTI, BME Építőanyag Tanszék), s ennek eredményeképpen jelentek meg (általában 5 évenként) az ME-04-19 számú műszaki előírások a beton és vasbeton készítésére. Az utolsó, 1995 évi kiadás tartalmazza a fagyálló, vízzáró, kopásálló, agresszív hatásoknak ellenálló, alkáli-kovasav és alkáli-karbonát reakciónak ellenálló, a sugárvédő, a hő- és tűzálló, a könnyű-, a látszó-, a kis zsugorodású és csekély kúszású betonok készítési feltételeit (alapanyagok, összetétel, technológia). Az ezekben foglaltak betartása esetén a követelmények teljesíthetők.

Az elmondottak szerint ismeretesek a különböző követelményeket kielégítő betonkeverékek összetételének és készítésének a feltételei. A beton minősítő vizsgálata ebből következően az alábbiak szerinti lehet, amely megfelel az MSZ EN 206-1 vonatkozó előírásainak is.

Kezdeti vizsgálattal kell megállapítani az adott üzemben még nem készített új beton vagy betoncsalád ama összetételét, amellyel a beton friss és szilárd állapotára előírt ***valamennyi*** követelményének a kielégítésére alkalmas. A kiinduló betonkeverék a vonatkozó előírások alapján megállapítható. Ezt a vizsgálatot adott üzemben ***egyszer*** kell elvégezni.

Az ***azonosító vizsgálattal*** azt kell ellenőrizni, hogy a kiválasztott adag vagy szállítmány az előírt alapsokaságú halmazból származik-e, azaz a keverék ***összetétele*** megfelel-e a kezdeti vizsgálattal meghatározott összetételnek. Ez a vizsgálat folyamatos, és annak megállapítására szolgál, hogy az adott üzem folyamatosan betartja-e a kezdeti vizsgálattal jóváhagyott feltételeket. Ez a vizsgálat nem az átadás-átvételhez, hanem az betonüzem ellenőrzött voltának igazolásához szükséges.

A betonkeverék kezdeti és azonosító vizsgálatának az eredményei a betonminőség igazolására csak akkor fogadhatók el, ha a felhasznált alapanyagok megfelelő minőségét is igazolni lehet. Magától értetődő, hogy a cement minőségének az igazolására a cementgyári minőségtanúsítást vita nélkül elfogadjuk, és a cementet a betonkészítők nem szokták külön (szállítmányonként) megvizsgáltatni. Ugyanígy elfogadható igazolásként az adalékszer gyártók, valamint az adalékanyag termelők és szállítók minőségtanúsítása is. A tanúsítások igazolják az alapanyagok minőségét, azt tehát, hogy azok kémiai, ásványtani, összetételi jellemzői, valamint tulajdonságai megfelelnek a követelményeknek.

Ha ezek az igazolások rendelkezésre állnak, akkor miért ne lehetne a betongyártók minőségtanúsítását is elfogadni a követelményeknek megfelelő betonminőség igazolására anélkül, hogy a tulajdonságokat – szilárdság, rugalmassági modulus, kúszás, zsugorodás, porozitás stb. – szállítmányonként ellenőrizni kellene. Véleményem szerint ez a minőségtanúsítás válthatná ki a rutinszerű és a betonkeverék minőségét csak közelítőleg tükröző kockavizsgálatokat.

Ha a minőségtanúsításnak ezt a változatát vezetnénk be, akkor még egy nagyon lényeges feltételnek is eleget tehetünk. Erre a feltételre mintegy 30 éve világított rá az ACI akkori elnöke, Mather Brian, *„How soon is soon enough" (Milyen korán az elég korán) c.* cikkében. Az volt ugyanis a véleménye – amellyel akkor is, most is teljes mértékben egyetértek –, hogy a betonkészítés akkor válhat minden tekintetben megbízhatóvá, ha a minőségét olyan korán, akkor ismerjük meg, amikor még beavatkozásra van lehetőség. Tehát

- az alapanyagok minőségét az előtt kell megismernünk, és a betonkeverék alkotóinak megfelelő mennyiségében akkor kell biztosnak lennünk, mielőtt azokat a keverőgépbe adagolnánk (vagyis a mérlegeknek kalibráltaknak kell lenniük),
- a keverés megfelelő voltában akkor kell biztosnak lennünk, mielőtt a keveréket a szállítóeszközbe helyeznénk (tehát ellenőrizni kell a keverés időtartamát és módját),
- a beton tulajdonságaiban a szilárdulás megindulása előtt kell biztosnak lennünk (ehhez a beton összetételét, tömörítését és utókezelését kell kézben tartanunk).

Ha így járunk el, akkor a nyomószilárdság rutinellenőrzése felesleges, már csak azért is, mert annak eredményeiből nem a beépített beton, hanem a vizsgálati próbatest betonjának a nyomószilárdságára lehet csak tájékoztatást kapni. A folyamatos minőségtanúsításra épülő ellenőrzési rendszer ugyanakkor a betonszerkezet betonjával szemben támasztott valamennyi, az előadásom elején felsorolt követelmény igazolására alkalmas.

Az elmondottak alapján az alábbi állításom – ha úgy tetszik, tézisem – továbbgondolását javasolom:

A betonnal szemben támasztott mechanikai, fizikai és kémiai követelmények kielégítését nem a szabványos próbatestek nyomószilárdságának a vizsgálati eredményeivel, hanem az előírt betonösszetétel betartásának a tanúsításával lehet bizonyítani.

Dr. Gilyén Jenő

Dr. Ujhelyi János

TELJESÍTMÉNYSZEMLÉLET – A BETONTUDOMÁNY ÚJ IRÁNYAI

A beton az utolsó 100 év legtöbbet használt építőanyaga, mert

- sokcélú (magasépítés, mélyépítés, közlekedés, vízépítés stb.),
- bármilyen formára alakítható (szobor is),
- viszonylag olcsó,
- lakossági felhasználásra is jó,
- tanulatlan személyek is elboldogulnak vele,

de főleg az utóbbi sokáig hátráltatta a fejlődést. Például Prof. dr. Varga József, akadémikustól, a 40-es évek elejének iparügyi miniszterétől hallottam az 50-es évek elején: *„Minek annyit beszélni a betonról? Mindenki tudja, hogy jó beton készítéséhez mi kell: egy rocska cement, egy rocska sóder, egy rocska víz”*.

A betonnal szemben támasztott szilárdsági követelmény fokozatosan nőtt, a múlt század utolsó harmadában a korábbi átlagosan B 140 helyett már B 560 minőséget is elő mertek írni. A szilárdság növekedése ellenére a betonszerkezetek káreseteinek a száma és költségkihatása nőtt. Ennek okai:

- növekvő környezetszennyezés (klorid, széndioxid, savas eső, közlekedési hatások stb.), és növekvő igénybevétel (pl.C100/115),
- egy teherhordó szerkezeten belül a szilárdságtól eltérő anyagjellemzők (pl. alakváltozások) elhanyagolása (Gilyén Jenő cikke, *Beton 2008. október)*,
- az a hiedelem, hogy ha egy beton jó szilárdságú, az ellenáll minden károsító hatásnak.

Siemes holland prof. Ismertette néhány éve egy konferencián, hogy a holland Műegyetem *Vasbetonszerkezetek* tankönyve két lapon foglalkozott a tartóssággal a tűzállóság és a vízzáróság kapcsán, de a következő lapszéli megjegyzéssel: *„ezt nem kell megtanulni, csak elolvasni”*.

A károk elhárításának növekvő költségei irányították rá a beruházók figyelmét – mintegy 30 éve – a használati élettartamra, a tartósságra és a teljesítőképességre:

- ***használati élettartam:*** a szerkezet észszerű, megtervezhető, gazdaságos fenntartásával elérhető használhatósági kora,
- ***tartósság:*** az a betonszerkezet tartós, amely adott mechanikai, fizikai és kémiai hatások mellett megtervezett élettartamú,

- ***teljesítőképesség:*** ellenállás minden, a betont érő hatással szemben, de ez nem egyenlő a nagy szilárdsággal!!

Az élettartam, a tartósság és a teljesítőképesség együttes figyelembevétele a **teljesítményszemlélet**. A teljesítmény-szemlélet **következménye** az, hogy a beton szövetszerkezetét, **struktúráját kell megtervezett módon kialakítani**, mégpedig:

- a kötőanyag,
- az adalékanyag,
- az adalékszer, és
- a kiegészítő anyag minőségének és mennyiségének a tudatos kiválasztásával,
- az adagolás,
- a keverés,
- a szállítás és a zsaluzatba juttatás,
- a tömörítés és az utókezelés optimális, tervezett módjának és időtartamának maradéktalan betartásával.

Az MSZ EN 206-1 az igénybevételek mértékétől függően beton-összetételi korlátértékeket ír elő a víz/cement tényezőre, a cementtartalomra, és a tömörségre. Ez lényegében a **struktúra tervezéséhez** közelít. Az elkészített betonkeverék struktúrájának a megfelelőségét ellenőrizni kellene, kérdés azonban, hogy ez **miképpen lehetséges.**

A nyomószilárdság vizsgálatával?

- ✓ nem elég pontos. Az ASTM C 873 szabvány szerint például ugyanabból a 40 N/mm^2 szilárdságú betonból ugyanazon személy által készített és vizsgált próbakockák két eredménye – kifogástalan munka esetén is – 36 és 44 N/mm^2 lehet;
- ✓ nincs összefüggésben a struktúrával, mert ugyanazt a betonszilárdságot el lehet érni akár 250, akár 600 kg/m^3 cementadagolással is;
- ✓ nincs összefüggésben az egyéb betontulajdonságokkal, mint pl. kúszás, zsugorodás, rugalmas alakváltozás, szulfátállóság, stb.;
- ✓ a szilárdság a teljesítmény szemlélet szerint nem cél, hanem következmény, mégpedig a megfelelően kiképzett, megcélzott struktúra következménye, és szinte kizárólag a víz/cement tényezőtől függ, holott a struktúrát számos más tényező is befolyásolja.

Szarkasztikusan – kis túlzással – azt is mondhatnám (és mondom is), hogy a beton minőségének értékelése a nyomószilárdság vizsgálata alapján olyan, mintha a

tiszai halászlé ízét nem a ponty, harcsa, kecsege, kárász stb. mennyiségi arányainak alapján, hanem színének pirosságától függően kívánnánk megítélni.

A szilárdság helyett közvetlenül a beton struktúráját kellene vizsgálni, azonban a sok közül néhány ellenérv:

- ✓ a módszerek nincsenek szabványosítva,
- ✓ bármilyen struktúra-jellemző (pl. pórusméret-eloszlás) vizsgálata hosszadalmas,
- ✓ a módszerek nem kielégítő pontosságúak (pl. higanyporozimetria).

A vizsgálatoknak még egy nagyon lényeges szempontot ki kellene elégíteni, amire mintegy 30 éve Mather Brian, az ACI akkori elnöke világított rá *„How soon is soon enough” (Milyen korán az elég korán?)* című cikkében. Ezzel akkor is egyetértettem és most is egyetértek. Lényege: a beton készítése akkor lehet minden tekintetben megbízható, ha a minőséget befolyásoló tényezők szintjét olyan korán, akkor ismerjük meg, amikor még beavatkozásra van lehetőség. Tehát:

- ❖ az alapanyagok minőségét az előtt kell megismernünk és a betonkeverék alkotóinak megfelelő mennyiségében akkor kell biztosaknak lennünk, mielőtt azokat a keverőgépbe adagolnánk. Ezért vagyis csak tanúsított minőségű alapanyagokat szabad használni, és a mérlegeknek kalibráltaknak kell lenniük;
- ❖ a keverés megfelelő voltában akkor kell biztosnak lennünk, mielőtt a keveréket a szállítóeszközbe helyeznénk. Ellenőrizni és tanúsítani kell tehát a keverés módját és idejét;
- ❖ a beton tulajdonságaiban a szilárdulás megindulása előtt kell biztosnak lennünk. Ehhez a beton összetételének, tömörítésének és utókezelésének az ellenőrzése, és a tanúsítása szükséges.

Az alapanyagokat (cement, adalékszer, kiegészítő anyag, adalékanyag) általában nem vizsgáljuk az átadás-átvétel alkalmával, mert azok megfelelőségét a termelő vagy a szállító tanúsítja. Ezt írja elő a vonatkozó szabvány is.

Az MSZ EN 206-1 azt is előírja, hogy a betongyártó üzemnek bámely, általa gyártott betonfajta megfelelő összetételét ***kezdeti vizsgálattal*** egyszer meg kell állapítania. Bármilyen tartóssági követelmény esetén a kezdeti vizsgálatokhoz szükséges összetételre ajánlásokat tartalmaz az MÉASZ ME-04.19:1995 előírás.

A folyamatos gyártás során ***rendszeres azonosító vizsgálattal*** kell ellenőriznie, hogy a kiválasztott adag vagy szállítmány az előírt alapsokaságú halmazból származik-e, tehát összetétele megfelel-e a kezdeti vizsgálattal megfelelőnek talált

összetétellel. Ha ezt az előírást az üzem betartja, akkor felmerül bennem a kérdés: *miért ne lehetne a minőség tanúsítását elfogadni a követelményeknek megfelelő betonminőség igazolására anélkül, hogy a tulajdonságokat – szilárdság, kúszás, rugalmasság, zsugorodás, porozitás stb. – szállítmányonként ellenőriznie kellene?*

Véleményem szerint ez a minőségtanúsítás válthatná ki a rutinszerű és a betonkeverék teljesítmény-szemléletű jellemzőit nem tükröző kockavizsgálatokat. Ebből a következő **megállapítás**, ha tetszik: **tézis** fogalmazható meg:

> ***A teljesítmény szemlélet érvényesülése esetén a betonnal szemben támasztott mechanikai, fizikai és kémiai követelmények kielégítését nem a szabványos próbatestek nyomószilárdságának a vizsgálati eredményeivel, hanem az előírt betonösszetétel betartásának a tanúsításával lehet és kell bizonyítani.***